



TUGAS AKHIR - TE 141599

**ELIMINASI FLUKS SISA PADA TRANSFORMATOR SATU
FASA MENGGUNAKAN METODE PENGGESERAN KUTUB
PADA SUMBER TEGANGAN DC**

Ryan Nurdianto
NRP 2212100003

Dosen Pembimbing
Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc
Ir.Arif Musthofa, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**ELIMINATION OF RESIDUAL FLUX IN SINGLE PHASE
TRANSFORMER BY THE APPLICATION OF AN
ALTERNATING POLARITY DC VOLTAGE SOURCE**

Ryan Nurdianto
NRP 2212100003

Advisor
Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc
Ir.Arif Musthofa, MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

**ELIMINASI FLUKS SISA PADA TRANSFORMATOR
SATU FASA MENGGUNAKAN METODE
PENGGESERAN KUTUB PADA SUMBER
TEGANGAN DC**

TUGAS AKHIR

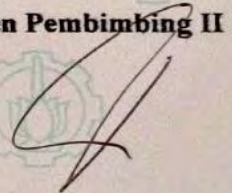
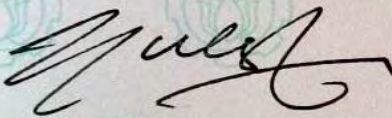
**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

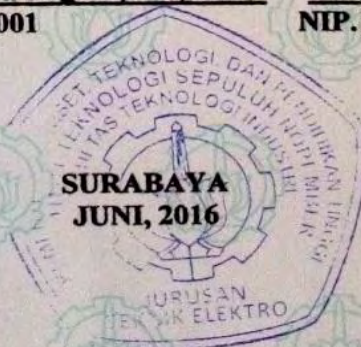
Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
NIP. 197007121998021001

Ir. Arif Musthofa, MT
NIP. 196608111992031004



ELIMINASI FLUKS SISA PADA TRANSFORMATOR SATU FASA MENGGUNAKAN METODE PENGGESERAN KUTUB PADA SUMBER TEGANGAN DC

Nama : Ryan Nurdianto
Pembimbing I : Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
Pembimbing II : Ir.Arif Musthofa, MT.

ABSTRAK

Transformator merupakan bagian yang penting dalam sistem kelistrikan. Pada saat energisasi transformator, terjadi salah satu kejadian yang tidak bisa dilepaskan yaitu fenomena arus inrush. Arus inrush yang tinggi dapat menyebabkan penurunan kualitas transformator, menimbulkan kegagalan koordinasi sistem proteksi transformator dan menurunkan kekuatan isolasi belitan pada transformator. Arus inrush yang tinggi salah satu penyebabnya adalah adanya fluks sisa dari transformator. Arus inrush pada proses energisasi dapat mencapai nilai 10-20 kali arus rating. Pada studi ini akan menguji dan membuat sebuah alat untuk mengurangi besar arus inrush dengan cara mengurangi besar nilai fluks sisa dari transformator. Alat ini bekerja dengan cara menggeser (*switching*) polaritas sumber tegangan DC. Besarnya tegangan dijadikan variabel dengan frekuensi yang tetap (*Variable Voltage-Constant Frequency/VVCF*). Hasil yang diperoleh dari studi ini adalah besar nilai arus inrush transformator sesudah didemagnetisasi mengalami penurunan besar nilai arus. Pada dua kali pengambilan data pada sudut penyalan 0^0 penurunan nilai arus inrush terjadi pada nilai 31.68A ke nilai 25.55A dan terjadi pada nilai 30.12A ke nilai 25.25A, sedangkan pada sudut penyalan 90^0 penurunan nilai arus terjadi pada nilai 9.22A ke nilai 5.75A dan terjadi pada nilai 8.22A ke nilai 5.50A.

Kata kunci : transformator, arus inrush, *Variable Voltage-Constant Frequency/VVCF*

ELIMINATION OF RESIDUAL FLUX IN SINGLE PHASE TRANSFORMER BY THE APPLICATION OF AN ALTERNATING POLARITY DC VOLTAGE SOURCE

Nama : Ryan Nurdianto
Pembimbing I : Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
Pembimbing II : Ir.Arif Musthofa, MT.

ABSTRACT

The transformer is an important part of the electrical system. At the time of transformer energizer, the occurrence of any event that can't be released, namely the inrush currents phenomenon. High inrush currents caused loss of quality transformer, failure of protection systems coordination and lower isolation power of transformer windings on the transformer. The residual fluxes of the transformer caused high inrush currents. Inrush currents on the energizer can reach a value of 10-20 times the current rating. In this study will examine and make a major tool to reduce the inrush current by reducing the large value of residual fluxes of transformer. This tool works by switching polarity of the DC voltage source. The amount of voltage is used as a variable to a fixed frequency (Variable Voltage-Constant Frequency / VVCF). The results obtained from this study is decreasing value of inrush current after demagnetitation. At twice the data retrieval on the firing angle 0° , decreasing of inrush currents occurred in the value of 31.68A to 25.55A and in the value of 30.12A to 25.25A, while at the firing angle of 90° , decreasing of inrush currents occurred in the value 9.22A to 5.75A and in the value of 8.22A to 5.50A value.

Keywords : transformer, inrush currents, Variable Voltage-Constant Frequency/VVCF

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Metodologi	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
1.6 Relevansi.....	4
BAB II TRANSFORMATOR	5
2.1 Pengertian Transformator	5
2.2 Konstruksi Transformator	5
2.3 Transformator Ideal	6
2.4 Transformator Tidak Ideal	7
2.4.1 Rangkaian Ekuivalen Transformator	8
2.4.2 Parameter Transformator.....	9
2.5 Arus Inrush Pada Transformator	11
BAB III PERANCANGAN ALAT DEMAGNETISASI DAN PENGUKURAN ARUS INRUSH	15
3.1 Spesifikasi Transformator Satu Fasa	15
3.1.1 Pengujian Hubung Terbuka (<i>Open Circuit Test</i>)..	16
3.1.2 Pengujian Hubung Singkat (<i>Short Circuit Test</i>)...	23
3.2 Demagnetisasi dengan Tegangan DC Variatif Frekuensi Konstan	24
3.2.1 Simulasi Alat Demagnetisasi	25
3.2.2 Bentuk Fisik Alat Demagnetisasi.....	30
3.2.3 Prinsip Kerja Alat Demagnetisasi.....	33

3.3	Pembacaan Arus Inrush Menggunakan <i>Data Acquisition</i> (DAQ) dan Pengolahan Data Menggunakan Perangkat Lunak <i>NIDIA</i> dan <i>LabView</i>	34
BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS KINERJA ALAT DEMAGNETISASI		
4.1	Hasil Pengujian Tegangan Keluaran Alat Demagnetisasi	35
4.1.1	Penentuan Nilai Tegangan DC Variasi.....	36
4.2	Pengukuran Besar Arus Inrush dan Pengaruh Demagnetisasi Terhadap besar Arus Inrush.....	43
4.2.1	Hasil Pengukuran Besar Nilai Arus Inrush pada Sudut Penyalaan 0°	45
4.2.2	Hasil Pengukuran Besar Nilai Arus Inrush pada Sudut Penyalaan 90°	47
4.3	Hasil Pengukuran Besar Arus Inrush dan Pengaruh Demagnetisasi Terhadap Besar Arus Inrush	49
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan.....	53
5.2	Saran	53
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		
RIWAYAT HIDUP		

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi transformator	15
Tabel 3.2	Hasil pengujian hubung terbuka	17
Tabel 3.3	Nilai parameter-parameter pencarian saturasi inti transformator	18
Tabel 3.4	Hasil pengujian hubung singkat	23
Tabel 4.1	Perbandingan nilai simulasi dan kondisi kenyataan.....	35
Tabel 4.2	Data arus inrush transformator sebelum dan sesudah didemagnetisasi	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Transformator tipe inti.....	5
Gambar 2.2	Transformator tipe cangkang : a. lilitan primer dan sekunder tidak menumpuk, b. lilitan primer dan sekunder saling menumpuk.....	6
Gambar 2.3	Rangkaian ekivalen transformator.....	8
Gambar 2.4	Skema pengukuran transformator hubung terbuka .	10
Gambar 2.5	Skema rangkaian pengukuran transformator hubung singkat	10
Gambar 2.6	Fenomena hubungan arus inrush akibat pengaruh fluks	12
Gambar 3.1.a	Rangkaian ekivalen transformator (panjang).....	16
Gambar 3.1.b	Rangkaian ekivalen transformator (pendek).....	16
Gambar 3.2	Rangkaian pengujian hubung terbuka	16
Gambar 3.3	Diagram fasor arus terhadap tegangan	21
Gambar 3.4	Kurva saturasi inti	22
Gambar 3.5	Rangkaian hubung singkat trafo.....	23
Gambar 3.6	Kurva magnetisasi pada saat demagnetisasi	25
Gambar 3.7	Bentuk gelombang keluaran peralatan demagnetisasi	25
Gambar 3.8	Bentuk simulasi dengan <i>software proteus</i>	26
Gambar 3.9	Komponen arduino nano.....	27
Gambar 3.10	Komponen DAC dengan <i>inverting op amp</i>	28
Gambar 3.11	Rangkaian <i>inverting op-amp</i>	28
Gambar 3.12	Rangkaian <i>op amp</i> diferensiasi	29
Gambar 3.13	Rangkaian sziklai darlington.....	30
Gambar 3.14a	Bentuk fisik alat demagnetisasi tampak samping ...	31
Gambar 3.14b	Bentuk fisik alat demagnetisasi tampak atas	31
Gambar 3.15	<i>Power supply</i> DC.....	32
Gambar 3.16	ACS modul 712	32
Gambar 3.17	Rangkaian keseluruhan alat demagnetisasi.....	34
Gambar 3.18	<i>Data acquisition</i> (DAQ) 9246.....	34
Gambar 4.1	Alat demagnetisasi	35
Gambar 4.2	Nilai tegangan dan arus pada fasa positif (0.91 Volt DC dan 0.98 Ampere)	38
Gambar 4.3	Nilai tegangan dan arus pada fasa negatif (-0.83 Volt DC dan -0.94 Ampere)	38
Gambar 4.4	Nilai tegangan dan arus pada fasa positif (0.7 Volt DC dan 0.98 Ampere).....	39

Gambar 4.5	Nilai tegangan dan arus pada fasa positif (-0.6 Volt DC dan -0.62 Ampere)	39
Gambar 4.6	Nilai tegangan dan arus pada fasa positif (0.53 Volt DC dan 0.57 Ampere).....	40
Gambar 4.7	Nilai tegangan dan arus pada fasa positif (-0.39 Volt DC dan -0.41 Ampere)	40
Gambar 4.8	Nilai tegangan dan arus pada fasa positif (0.32 Volt DC dan 0.36 Ampere).....	41
Gambar 4.9	Bentuk gelombang keluaran peralatan demagnetisasi dengan osiloskop	42
Gambar 4.10	Bentuk gelombang keluaran peralatan demagnetisasi sesuai dasar teori	42
Gambar 4.11	Modul energisasi dan pengukuran sudut penyalan arus transformator	44
Gambar 4.12	Diagram alir proses demagnetisasi transformator...	45
Gambar 4.13	Nilai arus inrush sebelum didemagnetisasi pada pengukuran kedua pada sudut penyalan 0^0	46
Gambar 4.14	Nilai arus inrush sesudah didemagnetisasi pada pengukuran kedua pada sudut penyalan 0^0	46
Gambar 4.15	Nilai arus inrush sebelum didemagnetisasi pada pengukuran kedua pada sudut penyalan 0^0	47
Gambar 4.16	Nilai arus inrush sesudah didemagnetisasi pada pengukuran kedua pada sudut penyalan 0^0	47
Gambar 4.17	Nilai arus inrush sebelum didemagnetisasi pada pengukuran kedua pada sudut penyalan 90^0	48
Gambar 4.18	Nilai arus inrush sesudah didemagnetisasi pada pengukuran kedua pada sudut penyalan 90^0	48
Gambar 4.19	Nilai arus inrush sebelum didemagnetisasi pada pengukuran kedua pada sudut penyalan 90^0	49
Gambar 4.20	Nilai arus inrush sesudah didemagnetisasi pada pengukuran kedua pada sudut penyalan 90^0	49
Gambar 4.21	Pengaruh demagnetisasi terhadap besar arus inrush pada sudut penyalan 0^0	49
Gambar 4.22	Pengaruh demagnetisasi terhadap besar arus inrush pada sudut penyalan 90^0	49

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transformator merupakan salah satu peralatan listrik yang mempunyai peran sentral pada sistem tenaga listrik. Terjadinya suatu kerusakan pada transformator akan mengakibatkan sistem penyaluran tenaga listrik dapat terputus dan mengakibatkan kerugian yang besar. Untuk mengantisipasi kerusakan pada transformator, diperlukan pemantauan dan pemeliharaan transformator. Selain itu terdapat permintaan peningkatan performa teknik transformator dari para pemilik transformator. Menurut manufaktur usia transformator daya diperkirakan antara 25-40 tahun, tetapi terkadang terdapat transformator yang usianya di bawah *range* usia minimal telah rusak [1].

Transformator merupakan peralatan yang dapat menaikkan (*step up*) dan menurunkan level tegangan (*step down*). Salah satu fungsi transformator dalam menaikkan (*step up*) level tegangan yaitu pada sistem pembangkitan. Pada sistem pembangkitan, tegangan keluaran pada proses pembangkitan ditransmisikan pada saluran transmisi jarak jauh. Sedangkan fungsi transformator dalam menurunkan (*step down*) level tegangan yaitu pada sistem transmisi menuju sistem distribusi. Pada sistem penurunan level tegangan transmisi ke level tegangan distribusi bertujuan agar tegangan yang disalurkan dapat dimanfaatkan oleh konsumen-konsumen yang memanfaatkan level tegangan yang lebih rendah [2].

Sistem pengaman pada transformator perlu dirancang. Perancangan sistem pengaman pada transformator ini terkait dengan salah satu kejadian yang tidak bisa dilepaskan pada penggunaan transformator yaitu fenomena arus inrush. Fenomena arus inrush terjadi pada saat transformator dienergisasi. Arus inrush pada proses energisasi dapat mencapai nilai 10-20 kali arus rating [2-6]. Fenomena arus inrush ini dapat dianalisis melalui pengaruh kurva B-H pada inti besi transformator. Oleh karena itu, arus inrush pada saat energisasi perlu dipertimbangkan dalam penyusunan sistem pengaman transformator [7]. Arus inrush transformator yang tinggi bisa menyebabkan penurunan kualitas transformator, menimbulkan kegagalan koordinasi proteksi pada sistem proteksi transformator, dan akan menurunkan kekuatan isolasi belitan pada transformator. Arus inrush yang tinggi salah satu penyebabnya

adalah adanya fluks sisa dari transformator yang dikarenakan proses energisasi transformator yang dilakukan pada waktu sebelum-sebelumnya. Fluks sisa merupakan hal yang sulit dihindari pada sebuah transformator dan hilangnya akan fluks sisa ini belum bisa ditentukan waktunya.

Berdasarkan uraian pada paragraf diatas, maka munculah suatu pemikiran untuk mengurangi besar arus inrush transformator pada saat dienergisasi. Oleh karena itu, studi Tugas Akhir ini akan melakukan penelitian dan pembuatan alat dengan mengangkat judul "*Eliminasi Fluks Sisa pada Transformator Satu Fasa Menggunakan Metode Penggeseran Kutub pada Sumber Tegangan DC.*" Pada studi ini akan menguji dan membuat sebuah alat untuk mengurangi besar arus inrush dengan cara mengurangi besar nilai fluks sisa dari transformator. Alat ini bekerja dengan cara menggeser (*switching*) polaritas sumber tegangan DC. Besarnya tegangan dijadikan variabel dengan frekuensi yang tetap (*Variable Voltage-Constant Frequency/VVCF*). Sumber tegangan DC yang merupakan keluaran dari alat yang telah dibuat, dimasukkan ke kumparan primer transformator. Hasil pengukuran arus inrush transformator dengan menggunakan perangkat pengukur arus inrush sebelum dan sesudah transformator didemagnetisasi akan menunjukkan keefektifan dari metode ini.

1.2 Permasalahan

Adapun permasalahan yang dapat dibahas pada studi Tugas Akhir ini antara lain :

1. Simulasi pembuatan alat demagnetisasi fluks sisa untuk menghindari bahaya/*trouble shoot* yang tidak diinginkan.
2. Pembuatan alat demagnetisasi fluks sisa sesuai dengan simulasi yang telah dilakukan.
3. Interkoneksi antara alat demagnetisasi dengan transformator satu fasa.
4. Pengukuran besar arus inrush transformator sebelum dan sesudah dilakukan proses demagnetisasi untuk mengetahui keefektifan dari metode *Variable Voltage-Constant Frequency/VVCF*.

1.3 Tujuan

Tujuan dari studi Tugas Akhir ini yaitu untuk mengurangi fluks sisa pada transformator satu fasa 1 kVA berbasis pada metode *Variable Voltage-Constant Frequency/VVCF*. Dengan berkurangnya fluks sisa pada

transformator maka arus inrush pada saat transformator dienergisasai dapat diminimalisir dan dikurangi. Selain itu, alat demagnetisasi yang dirancang berbasis metode tersebut diharapkan dapat melakukan proses demagnetisasi secara cepat dan optimal.

1.4 Metodologi

Pengerjaan studi Tugas Akhir ini terbagi atas empat tahapan dengan uraian sebagai berikut :

1. Studi Literatur
Tahapan ini adalah serangkaian kegiatan pencarian dan pengkajian referensi yang berhubungan dengan topik tugas akhir. Referensi studi literatur didapatkan melalui buku, jurnal ilmiah, dan browsing melalui internet yang berhubungan dengan judul Tugas Akhir ini. Studi literatur dilakukan secara beriringan dengan penelitian yang dilakukan.
2. Simulasi
Pada tahap ini akan dibuat sebuah simulasi dari alat yang akan dibuat. Simulasi pembuatan alat demagnetisasi fluks sisa bertujuan untuk menghindari bahaya/*trouble shoot* yang tidak diinginkan
3. Perancangan Alat
Pada tahap ini akan dirancang dan dibuat sebuah alat demagnetisasi fluks sisa sesuai dengan simulasi yang telah dilakukan.
4. Pengujian dan analisis
Pengujian dan analisis bertujuan untuk mengetahui apakah alat yang telah dibuat sudah bekerja dengan baik dan sesuai dengan keluaran yang diinginkan.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan Tugas Akhir ini terbagi atas lima bagian dengan rincian sebagai berikut :

1. Bab 1 merupakan pendahuluan yang membahas tentang latar belakang, permasalahan, tujuan, metode penelitian, manfaat, serta sistematika penulisan Tugas Akhir.
2. Bab 2 merupakan dasar teori yang menjelaskan tentang transformator beserta karakteristiknya, sistem *switching* polaritas tegangan DC, dan tegangan keluaran yang efektif dari alat demagnetisasi .
3. Bab 3 merupakan perancangan alat demagnetisasi dengan memperhatikan karakteristik dari transformator. Dalam bab ini

dijelaskan pula metode yang digunakan dalam membuat alat penggeser sumber tegangan DC sehingga dapat memenuhi keluaran tegangan yang dihasilkan. Dilakukan pula pengujian *open-circuit test* dan *close-circuit test* untuk menentukan parameter-parameter pada transformator.

4. Bab 4 berisi hasil pengujian dan analisis dari alat demagnetisasi fluks sisa pada transformator satu fasa.
5. Bab 5 berisi kesimpulan dan saran dari studi yang telah dikerjakan.

1.6 Relevansi

Tugas Akhir ini diharapkan dapat diaplikasikan sebagai metode demagnetisasi arus inrush pada transformator satu fasa dengan optimal dan lebih akurat, serta dapat menjadi rujukan dan literatur sebagai penelitian selanjutnya.

BAB 2 TRANSFORMATOR

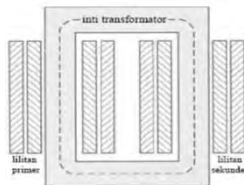
2.1 Pengertian Transformator

Transformator merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem kelistrikan. Transformator secara umum digunakan untuk menaikkan (*step up*) dan menurunkan (*step down*) level tegangan. Transformator terdiri dari tiga bagian utama, yaitu kumparan primer, kumparan sekunder, dan inti besi transformator.

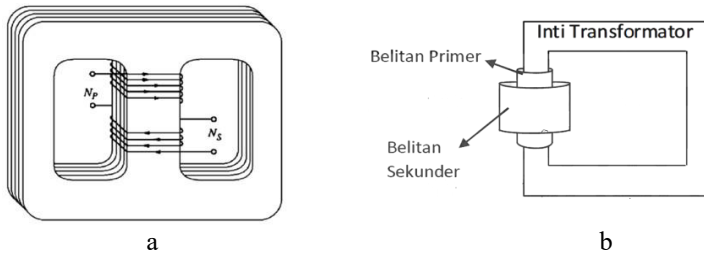
Prinsip kerja dari transformator adalah tegangan bolak-balik yang diberikan melalui kumparan primer kemudian akan mengalir arus bolak-balik pada masing-masing putaran kumparan. Arus bolak-balik tersebut akan menghasilkan fluks bolak-balik pada inti magnetik. Fluks tersebut mengalir pada inti transformator dan menginduksikan gaya gerak listrik (GGL) pada kumparan sekunder

2.2 Konstruksi Transformator

Transformator pada dasarnya ada dua jenis yang umum digunakan dalam sistem kelistrikan, yaitu transformator tipe inti (*core-form*) dan transformator tipe cangkang (*shell-form*). Pada transformator tipe inti (*core-form*), lilitan-lilitan digulung mengelilingi 2 lengan sebuah inti magnetik persegi. Dalam konstruksi tipe inti setiap lilitan terdiri dari 2 bagian, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder yang berada pada sisi lengan transformator yang berbeda dan dapat dilihat pada Gambar 2.1. Pada transformator tipe cangkang (*shell-form*), lilitan-lilitan digulung mengelilingi lengan tengah dari inti berlengan tiga yang bervariasi dan tidak saling menumpuk. Pada konstruksi tipe cangkang lilitan primer dan sekunder juga dapat digulung saling menumpuk pada 1 lengan saja dan dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.1 Transformator tipe inti [8]



Gambar2.2 Transformator tipe cangkang : a. lilitan primer dan sekunder tidak menumpuk[9], b. lilitan primer dan sekunder saling menumpuk[10]

2.3 Transformator Ideal

Sebuah transformator ideal adalah tranformator yang memiliki sifat tidak ada energi yang diubah menjadi bentuk energi lain di dalam transformator sehingga daya listrik pada kumparan sekunder sama dengan daya listrik pada kumparan primer. Kondisi ini menandakan efisiensi pada transformator ideal adalah 100 persen. Dalam hal ini resistansi lilitan diabaikan, semua fluks dibatasi pada inti dan terhubung pada 2 sisi lilitan (fluks bocor diabaikan), tidak ada rugi inti, dan permeabilitas inti sangat tinggi. Sifat-sifat tersebut hampir didekati namun tidak pernah secara nyata tercapai dalam aplikasi praktis transformator.

Berdasarkan asumsi transformator ideal, besar tegangan yang dihubungkan pada kumparan primer sama dengan gaya gerak listrik yang berubah terhadap waktu. Gaya gerak listrik tersebut memengaruhi besar fluks yang dihasilkan yang berubah terhadap waktu. Secara matematis kondisi ini dapat ditulis dalam persamaan 2.1.

$$V_1 = e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (2.1)$$

Fluks yang dihasilkan pada kumparan primer mengalir melalui inti dan menginduksi kumparan sekunder, sehingga gaya gerak listrik muncul pada kumparan sekunder yang sebanding dengan nilai tegangan sekunder

$$V_1 = e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (2.2)$$

Jika diasumsikan fluks yang dihasilkan pada kumparan primer sama dengan yang dihasilkan pada kumparan sekunder maka :

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{d\phi}{dt} \quad (2.3)$$

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.4)$$

2.4 Transformator Tidak Ideal

Pada kondisi sebenarnya transformator tidak dapat mengkonversi daya secara sempurna. Kondisi yang menyebabkan transformator tidak dapat mengkonversi daya secara sempurna diantaranya : pengaruh resistansi kumparan, fluks bocor pada transformator, dan arus eksitasi karena permeabilitas inti yang terbatas.

Pada transformator yang tidak ideal, tidak seluruh fluks yang dihasilkan mengalir melalui kumparan sekunder. Fluks-fluks yang hilang tersebut tidak mengalir dari kumparan satu ke kumparan lainnya melainkan mengalir bebas ke udara. Hal tersebut dinamakan sebagai fluks bocor. Kerugian daya lain yang terjadi saat transformator beroperasi adalah rugi inti. Rugi inti dipengaruhi oleh resistansi inti dan reaktansi magnetik yang terjadi pada inti transformator. Pada saat beroperasi, permeabilitas rangkaian magnetik yang terbatas mempengaruhi nilai arus yang dibutuhkan untuk menghasilkan gaya gerak magnet untuk mempertahankan fluks yang dibutuhkan transformator. Arus dan gaya gerak magnet yang dibutuhkan sebanding dengan kerapatan fluks (B) yang terjadi pada inti transformator. Pernyataan tersebut berdasarkan pada teori,

$$B = \mu H; B = \frac{\theta}{A} \quad (2.5)$$

dimana A adalah luas permukaan inti ferromagnetik, m^2 dan H adalah gaya magnetisasi atau intensitas medan magnet. Nilai H diperoleh dari,

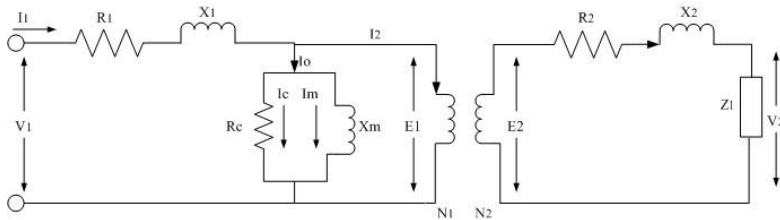
$$H = i \frac{l}{l} \quad (2.6)$$

dimana l adalah panjang jalur magnetik inti transformator. Sehingga

$$\oint B \cdot ds = \mu \frac{(i l)}{l} \quad (2.7)$$

2.4.1 Rangkaian Ekuivalen Transformator

Rangkaian ekuivalen transformator digunakan untuk menganalisis kerja suatu transformator sesuai dengan kondisi nyata yang memperhatikan rugi-rugi belitan dan komponen magnetisasi inti, seperti reaktansi magnetisasi dan resistansi inti. Sehingga rangkaian ekuivalen transformator dapat dijelaskan melalui Gambar 2.3:



Gambar 2.3 Rangkaian ekuivalen transformator

Berdasarkan rangkaian ekuivalen diatas maka hubungan penjumlahan vektor dapat diketahui sebagai berikut:

$$V_1 = E_1 + I_1 R_1 + I_1 X_1 \quad (2.8)$$

$$E_2 = V_2 + I_2 R_2 + I_2 X_2 \quad (2.9)$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \text{ atau } E_1 = a E_2 \quad (2.10)$$

Dari persamaan 2.9 dan 2.10 maka diperoleh :

$$E_1 = a(I_2 Z_L + I_2 R_2 + I_2 X_2) \quad (2.11)$$

Dengan adanya persamaan :

$$\frac{I'_2}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a} \text{ atau } I_2 = a I'_2 \quad (2.12)$$

Sehingga diperoleh persamaan :

$$E1 = a^2 I_2' Z_L + a^2 I_2' R_2 + a^2 I_2' X_2 \quad (2.13)$$

$$V1 = a^2 I_2' Z_L + a^2 I_2' R_2 + a^2 I_2' X_2 + I_1 R_1 + I_1 X_1 \quad (2.14)$$

Dengan penyederhanaan rangkaian, maka diperoleh :

$$R_{eq} = R_1 + (N_1/N_2)^2 \cdot R_2 \quad (2.15)$$

$$X_{eq} = X_1 + (N_1/N_2)^2 \cdot X_2 \quad (2.16)$$

Dimana :

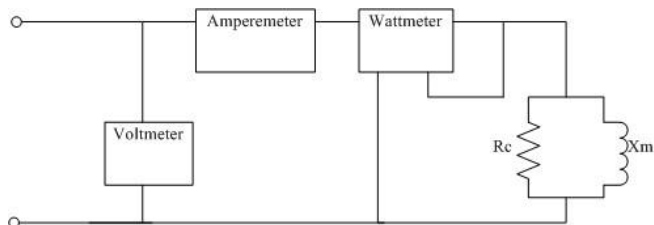
- V1 = Tegangan primer (V)
- V2 = Tegangan sekunder (V)
- E1 = Ggl primer (V)
- E2 = Ggl sekunder (V)
- R1 = Hambatan primer (Ω)
- R2 = Hambatan sekunder (Ω)
- I1 = Arus primer (A)
- I2 = Arus sekunder (A)
- X1 = Reaktansi primer (Ω)
- X2 = Reaktansi sekunder (Ω)
- N1 = Jumlah lilitan primer
- N2 = Jumlah lilitan sekunder
- ZL = Impedansi beban (Ω)
- a = Konstanta

2.4.2 Parameter Transformator

Rangkaian ekivalen transformator dapat diperoleh dengan mengetahui parameter transformator, yaitu dengan melakukan pengukuran hubung terbuka (*open-circuit test*) dan pengukuran hubung singkat (*short-circuit test*). Pengukuran hubung terbuka (*open-circuit test*) digunakan untuk mengetahui parameter inti transformator. Pengukuran hubung singkat dilakukan untuk mengetahui parameter belitan transformator.

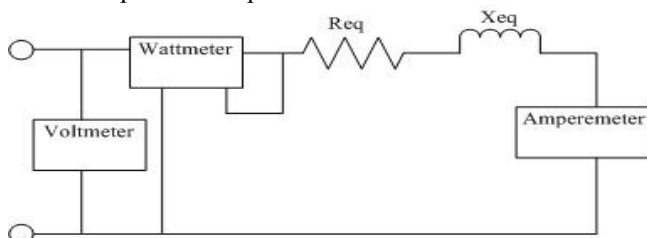
Pengukuran kondisi hubung terbuka (*open-circuit test*) digunakan untuk memperoleh nilai dari parameter inti, R_c dan X_m . Dalam keadaan hubung terbuka/tanpa beban bila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan V_p , maka hanya I_o yang mengalir dari pengukuran daya yang masuk (P_p). Karena nilai impedansi lilitan di kumparan primer jauh lebih

kecil dibandingkan nilai impedansi inti, maka nilai impedansi lilitan pada pengukuran ini dapat diabaikan. Skema pengukuran transformator hubung terbuka dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Skema pengukuran transformator hubung terbuka

Pengukuran hubungan singkat (*short-circuit test*) diperlukan untuk menentukan nilai R_{eq} dan X_{eq} . Pengukuran hubungan singkat dilakukan dengan menghubungkan sisi sekunder dengan impedansi yang bernilai sangat kecil hingga mendekati nol, sehingga hanya impedansi $Z_{eq} = R_{eq} + j X_{eq}$ yang membatasi arus. Ketika pengukuran hubung singkat (*short circuit test*) dilakukan, nilai tegangan yang diberikan harus dijaga pada nilai yang kecil sebab nilai dari R_{eq} dan X_{eq} relatif kecil sehingga arus yang timbul tidak melebihi nilai nominal dari rating transformator. Tegangan di sisi sekunder pada pengukuran hubung singkat yang relatif kecil menyebabkan tegangan jatuh pada R_c dan X_m sangat kecil, sehingga nilainya dapat diabaikan. Oleh karena itu tegangan yang diperoleh merupakan tegangan pada Z_{eq} . Skema pengukuran transformator tanpa beban dapat dilihat melalui Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skema rangkaian pengukuran transformator hubung singkat

Berdasarkan skema pengukuran transformator hubung terbuka atau tanpa beban, maka diperoleh :

$$R_c = 1 / \left(\left| \frac{I_{oc}}{V_{oc}} \right| \right) \cos \theta \quad (2.17)$$

$$X_m = 1 / \left(\left| \frac{I_{oc}}{V_{oc}} \right| \right) \sin \theta \quad (2.18)$$

dimana :

- R_c = Resistansi inti(Ohm)
- V_{oc} = Tegangan primer tanpa beban (Volt)
- I_{oc} = Arus Primer tanpa beban (Ampere)
- X_m = Reaktansi magnetisasi (Ohm)

Berdasarkan skema pengukuran transformator hubung singkat di atas, maka diperoleh :

$$R_{eq} = \left| \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \right| \cos \theta \quad (2.19)$$

$$X_{eq} = \left| \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \right| \sin \theta \quad (2.20)$$

dimana :

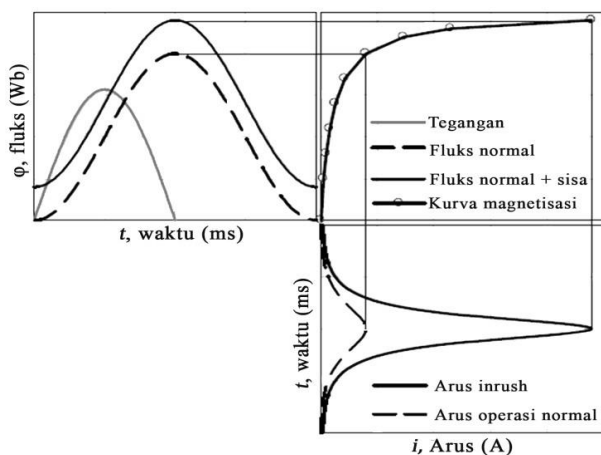
- R_{eq} = Resistansi ekivalen (Ohm)
- X_{eq} = Reaktansi ekivalen (Ohm)
- V_{sc} = Tegangan primer hubung singkat (Volt)
- I_{sc} = Arus Primer hubung singkat (Ampere)

2.5 Arus Inrush Pada Transformator

Pada saat sumber arus bolak balik dienergisasi ke belitan primer transformator untuk yang pertama kalinya, maka akan muncul arus yang mengalir ke lilitan. Arus yang muncul ke lilitan ini disebut sebagai arus inrush. Arus ini diperlukan untuk menghasilkan fluks pada inti ferromagnetik. Arus tersebut merupakan arus transien yang bernilai 10 sampai 20 kali lebih besar daripada nilai arus rating transformator. Arus ini diperlukan sampai nilai maksimum fluks mencapai kondisi tunak dan inti menjadi jenuh. Arus inrush terdiri dari 2 bagian antara lain arus magnetisasi, yakni arus yang diperlukan untuk menghasilkan fluks pada

inti transformator, dan arus rugi inti, yakni arus yang diperlukan untuk rugi histerisis dan rugi arus eddy terjadi.

Arus inrush terjadi di dalam transformator ketika fluks sisa tidak memenuhi nilai sesaat fluks dalam kondisi tunak, terutama pada titik-titik gelombang tegangan tertentu. Laju perubahan fluks sesaat di dalam transformator sebanding dengan jatuh tegangan sesaat pada lilitan yang terhubung sumber. Selama transformator beroperasi secara kontinyu, level fluks puncak berada nilai negatif saat tegangan berada pada titik nol. Namun selama energisasi fluks harus bermula pada titik nol. Sehingga untuk menaikkan tegangan dari nol fluks magnet akan mencapai nilai puncak berkali lipat dibandingkan dengan kondisi normal. Akibat ketidak linieran karakteristik kurva magnetisasi, pada kondisi saturasi jumlah gaya gerak magnet yang tidak sebanding dibutuhkan untuk membangkitkan fluks magnet. Sehingga arus kumparan yang dibutuhkan untuk membuat gaya gerak magnet agar dapat menimbulkan fluks pada inti transformator akan meningkat dibandingkan pada kondisi normal. Fenomena hubungan arus inrush akibat pengaruh fluks dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Fenomena hubungan arus inrush akibat pengaruh fluks

Nilai puncak arus inrush merupakan sebuah fungsi yang tersusun dari tegangan suplai, kerapatan medan magnet sisa, dan kerapatan medan magnet saturasi, resistansi lilitan primer dan induktansi transformator. Berdasarkan studi [10] nilai puncak arus inrush dapat diperoleh berdasarkan parameter-parameter transformator dalam kondisi beroperasi. Sehingga secara matematis nilai arus inrush didapatkan melalui persamaan :

$$i_{\max} = \frac{\sqrt{2}V_m}{\sqrt{\omega L^2 + R^2}} \left(\frac{2 \cdot B_n + B_r + B_s}{B_n} \right) \quad (2.21)$$

Dimana, :

V_m = tegangan terhubung maksimum (Volt)

L = induktansi transformator (Henry)

R = resistansi total transformator (Ohm)

B_n = kerapatan medan magnet normal transformator (Weber/m²)

B_r = kerapatan medan magnet sisa transformator (Weber/m²)

B_s = kerapatan medan magnet jenuh transformator (Weber/m²)

BAB 3

PERANCANGAN ALAT DEMAGNETISASI DAN PENGUKURAN ARUS INRUSH

Pada bab ini, metodologi penelitian yang digunakan terdiri dari simulasi perancangan alat *switching* sumber tegangan DC, pembuatan alat *switching*, pengukuran hubung terbuka (*open-circuit test*), pengukuran hubung singkat (*close-circuit test*), dan pengukuran arus inrush. Simulasi perancangan alat demagnetisasi menggunakan *software proteus* dan *software eagle*, sedangkan eksperimen pengukuran arus inrush dilakukan dengan perlengkapan peralatan untuk memperoleh nilai dan bentuk gelombang arus inrush.

3.1 Spesifikasi Transformator Satu Fasa

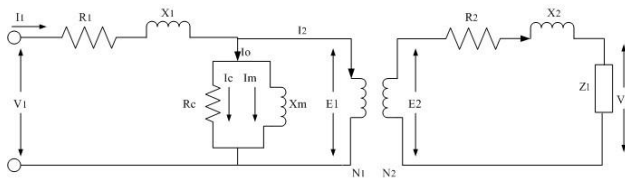
Tugas Akhir ini menggunakan transformator satu fasa sebagai objek untuk diteliti. Transformator satu fasa tersebut memiliki spesifikasi sebagai ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi transformator

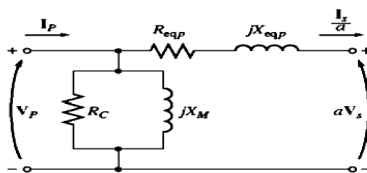
Tipe	Cangkang (<i>Shell</i>)
Jumlah Fasa	1
Kapasitas Daya	1 kVA
Tegangan Primer	220 Volt
Tegangan Sekunder	127 Volt
Jumlah Belitan Primer	255
Jumlah Belitan Sekunder	147
Frekuensi	50 Hz

Sebuah transformator perlu dilakukan pengujian hubung terbuka (*open-circuit test*) dan pengujian hubung singkat (*short-circuit test*) untuk mengetahui parameter-parameter dari transformator. Parameter yang dicari saat pengujian hubung terbuka adalah nilai R_c dan nilai X_m , sedangkan parameter yang dihitung saat pengujian hubung singkat adalah R_{eq} (R_1+R_2) dan X_{eq} (X_1+X_2).

Pada Gambar 3.1a dan Gambar 3.1b ditunjukkan sebuah rangkaian ekivalen dari sebuah transformator.



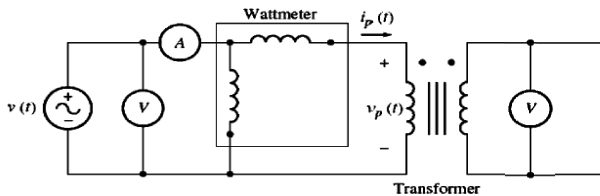
Gambar 3.1a Rangkaian ekivalen transformator (panjang)



Gambar 3.1b Rangkaian ekivalen transformator (pendek)

3.1.1. Pengujian Hubung Terbuka (*Open-Circuit Test*)

Pengujian hubung terbuka (*open-circuit test*), digunakan untuk mengetahui parameter inti transformator. Pengukuran kondisi hubung terbuka atau *open circuit test* digunakan untuk memperoleh nilai dari parameter inti transformator, yaitu R_c dan X_m . Rangkaian pengujian hubung terbuka dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Rangkaian pengujian hubung terbuka (*open-circuit test*),

Pada Tabel 3.2 dapat dilihat hasil dari pengujian hubung terbuka (*open-circuit test*) dari transformator yang akan dilakukan penelitian:

Tabel 3.2 Hasil pengujian hubung terbuka (*open-circuit test*)

Parameter	Nilai yang dihasilkan
Voc	218 Volt
Ioc	0,15 Ampere
Poc	24,5 Watt

Setelah nilai-nilai dari hasil pengujian hubung terbuka diketahui, maka nilai dari Rc dan Xm dapat diketahui dengan melakukan perhitungan sebagai berikut.

$$PF = \frac{Poc}{Voc \times Ioc} \quad (3.1)$$

$$PF = \frac{24,5}{218 \times 0,15} = 0,75 \text{ lagging} \quad (3.2)$$

Langkah selanjutnya menghitung nilai admintansi,

$$Y_E = \frac{Ioc}{Voc} < -\cos^{-1}(PF) \quad (3.3)$$

$$Y_E = \frac{0,15}{218} < -\cos^{-1}(0,75) \quad (3.4)$$

$$Y_E = 6,88 \times 10^{-4} < -41,4^\circ \Omega \quad (3.5)$$

$$Y_E = 0,00052 - j 0,00046 \Omega \quad (3.6)$$

$$Rc = \frac{1}{0,00052} = 1,9 \text{ k}\Omega \quad (3.7)$$

$$Xm = \frac{1}{0,00046} = 2,2 \text{ k}\Omega \quad (3.8)$$

Dalam pengujian hubung terbuka (*open-circuit test*), dapat dilakukan pencarian nilai saturasi inti pada transformator. Pada Tabel 3.3 dapat dilihat nilai perbandingan setiap parameter apabila nilai tegangan yang dialirkan dinaikkan interval 10 Volt ke 380 volt (AC line to Line)

Tabel 3.3 Nilai parameter-parameter saturasi inti transformator

Vp (V)	Vs (V)	Pp (W)	PF	Θ (°)	Ip (A)	Ic (A)	Im (A)
0	0	0	0	0	0	0	0
10	6	0,06	0,24	76,11	0,025	0,006	0,02426
20	11,5	0,25	0,3378	70,25	0,037	0,0125	0,03482
30	17,5	0,6	0,4444	63,61	0,045	0,02	0,04031
40	23,5	1,1	0,5288	58,07	0,052	0,0275	0,04413
50	28,5	1,6	0,5714	55,15	0,056	0,032	0,04595
60	35	2,3	0,6388	50,29	0,06	0,03833	0,04615
70	40	2,9	0,6473	49,66	0,064	0,04142	0,04878
80	46	3,8	0,6985	45,69	0,068	0,0475	0,04865
90	52	4,5	0,7042	45,23	0,071	0,05	0,05040
100	58	5,4	0,7297	43,13	0,074	0,054	0,05059
110	63	6,3	0,7342	42,75	0,078	0,05727	0,05295
120	68,5	7,2	0,75	41,40	0,08	0,06	0,05291
130	75	8,3	0,7600	40,52	0,084	0,06384	0,05458
140	80	9,3	0,7635	40,22	0,087	0,06642	0,05618
150	86	10,5	0,7692	39,71	0,091	0,07	0,05814
160	91	11,8	0,7763	39,07	0,095	0,07375	0,05988
170	98	13	0,7647	40,11	0,1	0,07647	0,06443
180	105	14,3	0,7222	43,76	0,11	0,07944	0,07608
190	110	15,6	0,7139	44,44	0,115	0,08210	0,08052
200	115	16,9	0,7004	45,53	0,121	0,08475	0,08636
210	120	18,6	0,6560	48,99	0,135	0,08857	0,10188

Vp (V)	Vs (V)	Pp (W)	PF	Θ (°)	Ip (A)	Ic (A)	Im (A)
220	127	20,5	0,6212	51,59	0,15	0,09318	0,11754
230	135	22,3	0,5703	55,22	0,17	0,09695	0,13964
240	140	24,8	0,5299	58,00	0,195	0,10333	0,16536
250	145	27	0,4695	61,99	0,23	0,108	0,20306
260	150	30	0,4273	64,70	0,27	0,11538	0,24410
270	155	33	0,3942	66,77	0,31	0,12222	0,28488
280	160	37,5	0,3720	68,15	0,36	0,13392	0,33416
290	165	42	0,3448	69,82	0,42	0,14482	0,39423
300	170	47	0,3333	70,52	0,47	0,15666	0,44312
310	176	52,1	0,3112	71,86	0,54	0,16806	0,51318
320	181	57,8	0,2913	73,06	0,62	0,18062	0,59310
330	190	62,8	0,2718	74,22	0,7	0,19030	0,67363
340	195	67,9	0,2527	75,35	0,79	0,19970	0,76434
350	200	72,9	0,2340	76,46	0,89	0,20828	0,86528
360	205	100	0,2863	73,35	0,97	0,27777	0,92937
370	210	116	0,2612	74,85	1,2	0,31351	1,15832
380	215	129	0,2715	74,24	1,25	0,33947	1,20302
370	210	115	0,2825	73,58	1,1	0,31081	1,05517
360	205	100	0,2923	72,99	0,95	0,27777	0,90848
350	200	90	0,2955	72,80	0,87	0,25714	0,83113
340	195	80	0,3055	72,20	0,77	0,23529	0,73316
330	190	70	0,3030	72,36	0,7	0,21212	0,66708
320	185	61	0,3125	71,79	0,61	0,19062	0,57944
310	180	55	0,3225	71,18	0,55	0,17741	0,52059
300	173	48	0,3404	70,09	0,47	0,16	0,44192
290	167	42	0,3489	69,57	0,415	0,14482	0,38890

Vp (V)	Vs (V)	Pp (W)	PF	Θ (°)	Ip (A)	Ic (A)	Im (A)
280	161	39	0,3816	67,56	0,365	0,13928	0,33737
270	156	35	0,4181	65,28	0,31	0,12962	0,28159
260	150	31	0,4258	64,79	0,28	0,11923	0,25334
250	145	29	0,4833	61,09	0,24	0,116	0,21010
240	140	25	0,5208	58,61	0,2	0,10416	0,17073
230	134	22,9	0,5531	56,41	0,18	0,09956	0,14995
220	126	20,5	0,6011	53,04	0,155	0,09318	0,12386
210	120	19,1	0,6496	49,48	0,14	0,09095	0,10643
200	115	17	0,68	47,15	0,125	0,085	0,09165
190	110	15,9	0,6973	45,78	0,12	0,08368	0,08600
180	105	15	0,7246	43,56	0,115	0,08333	0,07924
170	100	13,5	0,7941	37,42	0,1	0,07941	0,06077
160	90	12	0,7894	37,86	0,095	0,075	0,05830
150	85	11	0,8239	34,51	0,089	0,07333	0,05043
140	80	10	0,8305	33,84	0,086	0,07142	0,04789
130	75	8,5	0,7877	38,02	0,083	0,06538	0,05112
120	70	7,5	0,7812	38,62	0,08	0,0625	0,04993
110	65	6,2	0,7416	42,12	0,076	0,05636	0,05098
100	57	5,4	0,7397	42,29	0,073	0,054	0,04912
90	50	4,6	0,7301	43,10	0,07	0,05111	0,04782
80	46	3,8	0,7089	44,85	0,067	0,0475	0,04725
70	40	3	0,6802	47,13	0,063	0,04285	0,04617
60	35	2,5	0,6944	46,01	0,06	0,04166	0,04317
50	30	1,65	0,5892	53,89	0,056	0,033	0,04524
40	24	1,1	0,55	56,63	0,05	0,0275	0,04175
30	19	0,7	0,5185	58,76	0,045	0,02333	0,03847

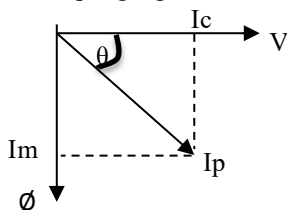
V _p (V)	V _s (V)	P _p (W)	PF	θ (°)	I _p (A)	I _c (A)	I _m (A)
20	10	0,3	0,4054	66,08	0,037	0,015	0,03382
10	5	0,1	0,4	66,42	0,025	0,01	0,02291
0	0	0,01	0	0	0,01	0	0

Setelah mengetahui nilai-nilai yang dihasilkan pada saat proses pencarian nilai saturasi inti pada transformator, maka proses selanjutnya mencari nilai faktor daya (PF). Pencarian nilai faktor daya (PF) ini bertujuan untuk mengetahui nilai arus magnetisasi. Pencarian parameter tersebut dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$PF = \frac{P_p}{V_p \cdot I_p} \quad (3.9)$$

$$\theta = \cos^{-1} (PF) \quad (3.10)$$

Dalam penentuan arus magnetisasi, maka perlu menganalisa diagram fasor arus lagging terhadap tegangan sebesar 90°.

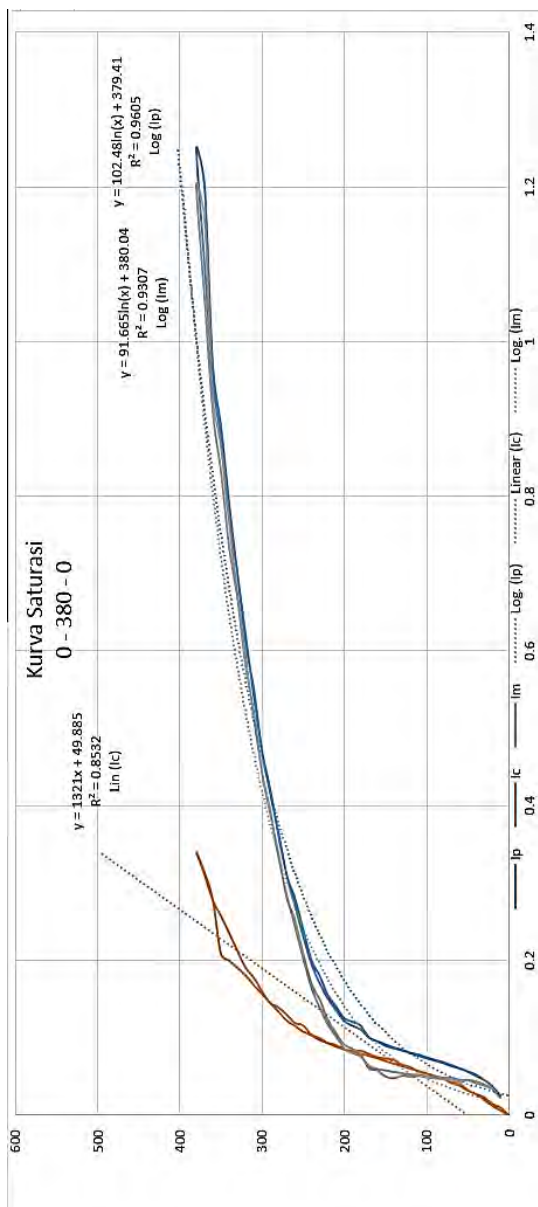


Gambar 3.3 Diagram fasor arus terhadap tegangan

Berdasarkan diagram fasor pada Gambar 3.3, besarnya I_c dan I_m dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut:

$$I_c = I_p \cos \theta \quad (3.11)$$

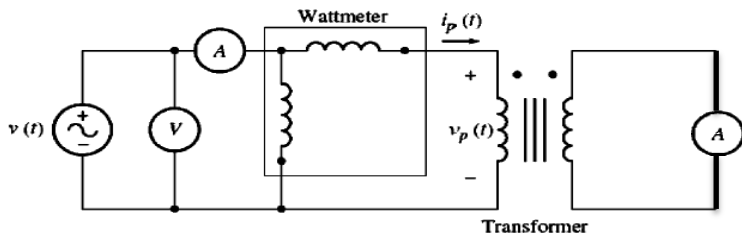
$$I_m = \sqrt{(I_p)^2 - (I_c)^2} \quad (3.12)$$



Gambar 3.4 Kurva saturasi

3.1.2. Pengujian Hubung Singkat (*Short Circuit Test*)

Pengujian hubung singkat (*short-circuit test*), digunakan untuk mengetahui parameter inti transformator. Pengukuran kondisi *short circuit test* digunakan untuk memperoleh nilai dari parameter belitan transformator, yaitu R_{eq} dan X_{eq} . Rangkaian pengujian hubung singkat dapat dilihat pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 Rangkaian hubung singkat trafo (*short-circuit test*)

Pada Tabel 3.2 dapat dilihat hasil dari pengujian hubung singkat (*short-circuit test*) dari transformator yang akan dilakukan penelitian:

Tabel 3.4 Hasil pengujian hubung singkat

Parameter	Nilai yang dihasilkan
V_{sc}	10 Volt
I_{sc}	4,5 Ampere
P_{sc}	44 Watt

Setelah nilai-nilai dari hasil pengujian hubung terbuka diketahui, maka nilai dari R_{eq} dan X_{eq} dapat diketahui dengan melakukan perhitungan sebagai berikut.

$$PF = \frac{P_{sc}}{V_{sc} \times I_{sc}} \quad (3.13)$$

$$PF = \frac{44}{10 \times 4.5} = 0,95 \text{ lagging} \quad (3.14)$$

Langkah selanjutnya menghitung nilai admintansi,

$$Z_E = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} < \cos^{-1} (PF) \quad (3.15)$$

$$Z_E = \frac{10}{4,5} < \cos^{-1} (0,98) \quad (3.16)$$

$$Z_E = 6,88 \times 10^{-4} < -11,5^\circ \Omega \quad (3.17)$$

$$Z_E = 2,17 - j 0,44 \quad (3.18)$$

$$R_{eq} = 2,12 \Omega \quad (3.19)$$

$$X_{eq} = 0,44 \Omega \quad (3.20)$$

3.2 Demagnetisasi dengan Tegangan DC Variatif Frekuensi Konstan (*Variable Voltage-Constant Frequency/VVCF*)

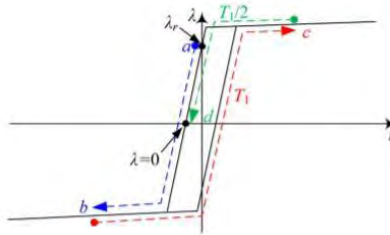
Sesuai dengan Hukum Faraday, saat tegangan DC dihubungkan ke induktor, arus $i(t)$ meningkat secara linier selama tegangan DC itu terhubung. Saat arus yang mengalir mencapai nilai maksimum, maka polaritas tegangan DC dibalik hingga arus bernilai $-I_{max}$. Jika pola ini dilakukan terus menerus dengan variasi nilai tegangan, maka fluks sisa yang terdapat dalam induktor akan terpengaruh karena:

$$i(t) = \frac{1}{L} \int v(t) dt = \frac{V}{L} t \quad (3.21)$$

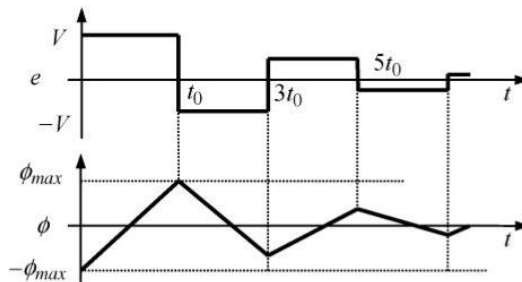
$$\emptyset = L, i(t) \quad (3.22)$$

Dengan memberi variasi pengurangan nilai tegangan DC secara berturut-turut setiap setengah cycle, maka fluks yang terdapat di dalam induktor akan secara perlahan berkurang setiap setengah cycle. Untuk memulai proses demagnetisasi, tegangan DC disuplai ke transformator hingga mencapai arus saturasi inti transformator yaitu 1.2 A. Periode untuk mencapai saturasi inti transformator tersebut digunakan sebagai waktu untuk *switching* pada proses variasi tegangan DC pada periode

selanjutnya[12]. Tegangan DC awal yang disuplai ke transformator dalam proses demagnetisasi akan ditentukan setelah proses pengujian tegangan keluaran alat demagnetisasi dibanding dengan arus yang dikeluarkan oleh alat demagnetisasi. Setelah arus DC awal yang disuplai ke transformator diketahui, langkah selanjutnya adalah membalik polaritas tegangan dan dikurangi amplitudonya setiap setengah cycle dengan kombinasi level tegangan tertentu. Gambar 3.6 hingga Gambar 3.7 menunjukkan konsep demagnetisasi DC variatif-frekuensi konstan.



Gambar 3.6 Kurva magnetisasi pada saat demagnetisasi [11]

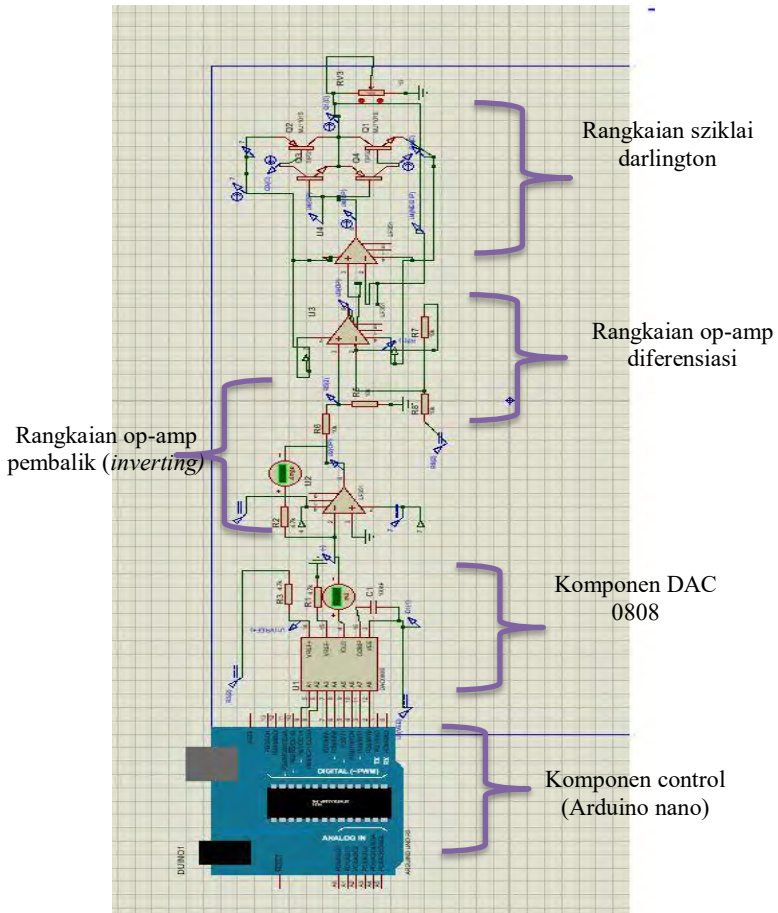


Gambar 3.7 Bentuk gelombang keluaran alat demagnetisasi [12]

3.2.1 Simulasi Alat Demagnetisasi

Simulasi untuk membuat alat demagnetisasi menggunakan *software proteus* untuk menentukan komponen-komponen yang

akan digunakan dalam pembuatan alat demagnetisasi. Simulasi bertujuan untuk menghindari *trouble shoot* yang parah pada saat pembuatan alat demagnetisasi fluks sisa. Pada Gambar 3.8 ditunjukkan model simulasi alat demagnetisasi dengan *software proteus*

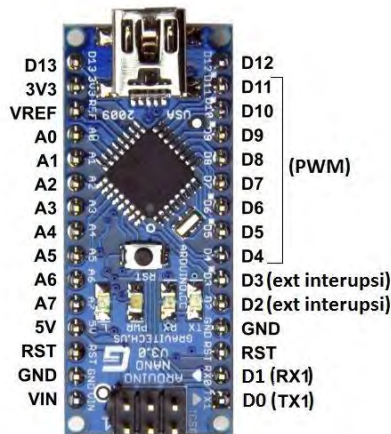


Gambar 3.8 Bentuk simulasi dengan *software proteus*

Dibawah ini merupakan penjelasan dari Gambar 3.8 :

1. Komponen kontrol (arduino nano)

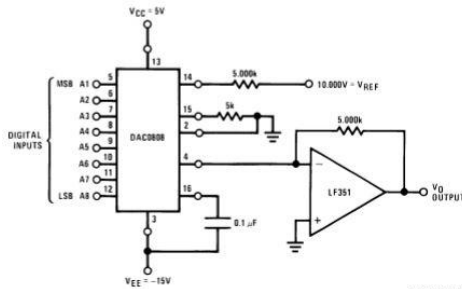
Komponen yang berfungsi sebagai pengontrol bentuk sinyal biner digital yang akan dimasukkan ke dalam komponen DAC. Komponen arduino ini membutuhkan suplai tegangan 5 volt DC agar bisa beroperasi secara optimal. Komponen kontrol (arduino nano) ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Komponen arduino nano

2. Komponen DAC (*Digital to Analog Converter*)

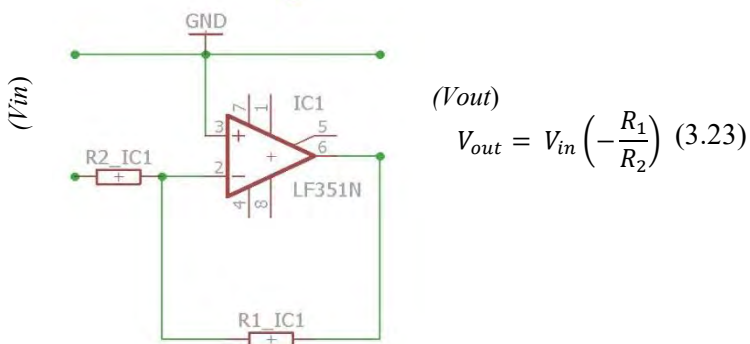
Komponen yang berfungsi merubah sinyal digital ke sinyal analog dengan kombinasi perhitungan nilai biner. Kombinasi biner tersebut akan dikontrol oleh sinyal dari Arduino. Komponen DAC dengan kombinasi *inverting op-amp* dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Komponen DAC dengan *inverting op amp*

3. Rangkaian op-amp inverting

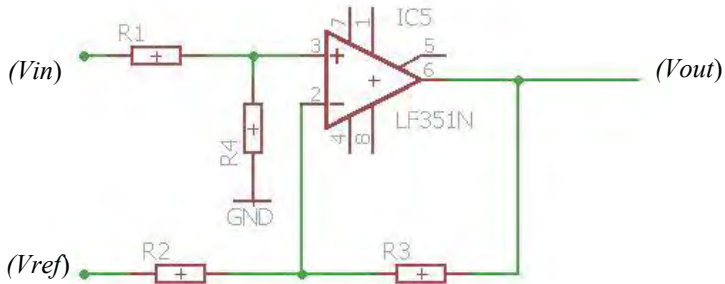
Komponen berfungsi membalik polaritas sinyal input. Komponen ini berfungsi mengubah tegangan dari DAC ke nilai tegangan positif. DAC 0808 merupakan komponen yang mengeluarkan output berupa nilai arus negatif. Oleh karena itu supaya keluaran dari DAC berupa tegangan maka arus negatif tersebut dikalikan dengan resistor sehingga nilai akan muncul nilai tegangan dengan polaritas negatif. Keluaran dari DAC yang sudah menjadi tegangan negatif nantinya akan dibalik menjadi tegangan positif menggunakan *inverting op-amp*. Rangkaian *inverting op-amp* ditunjukkan pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Rangkaian *inverting op-amp*

4. Rangkaian *op-amp* diferensiasi

Rangkaian berfungsi sebagai pemotong sinyal inputan sebesar nilai referensi yang dimasukkan. Pada komponen ini nilai referensi sebesar 5 Volt DC. Komponen inilah yang nantinya akan menghasilkan nilai level tegangan dengan polaritas positif dan nilai level tegangan dengan polaritas negatif pada keluaran tegangan yang diinginkan. Bentuk rangkaian *op-amp* diferensiasi dditunjukkan pada Gambar 3.12



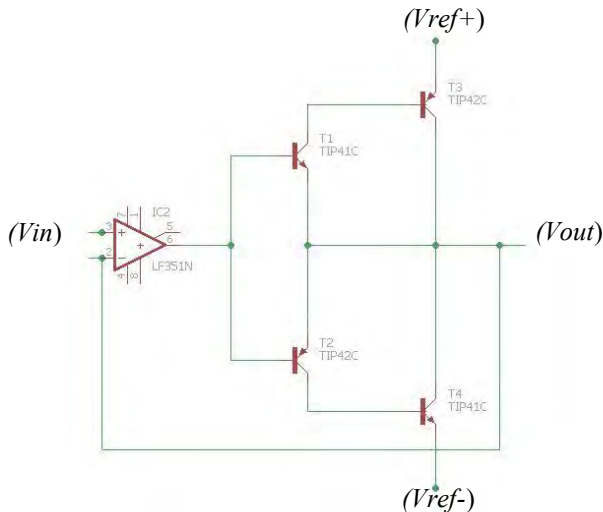
$$V_{out} = V_{in} - V_{ref} \left(\frac{R_3}{R_2} \right) \quad (3.24)$$

Gambar 3.12 Rangkaian *op-amp* diferensiasi

5. Rangkaian penguat arus inputan pada base (rangkaian sziklai darlington)

Rangkaian sziklei darlington berfungsi sebagai rangkaian penguat arus inputan pada base transistor. Fungsi utama dari rangkaian ini adalah mempertahankan tegangan dengan cara menaikkan level nilai arus pada keluaran. Dengan mempertahankan level arus, maka nilai tegangan yang merupakan keluaran dari alat demagnetisasi tidak mengalami penurunan walaupun disuplai ke beban yang memiliki resistansi kecil. Rangkaian ini pada kondisi fisik membutuhkan suatu pendingin transistor dikarenakan level nilai arus yang mengalir pada

rangkaian ini bernilai besar misalnya 1-2 ampere (pada alat demagnetisasi). Nilai tersebut merupakan nilai arus yang besar bagi rangkaian *microcontroller* dikarenakan pada kondisi normal nilai keluaran arus pada *microcontroller* bernilai sekian miliampere. Pada Gambar 3.13 ditunjukkan rangkaian sziklai darlington.



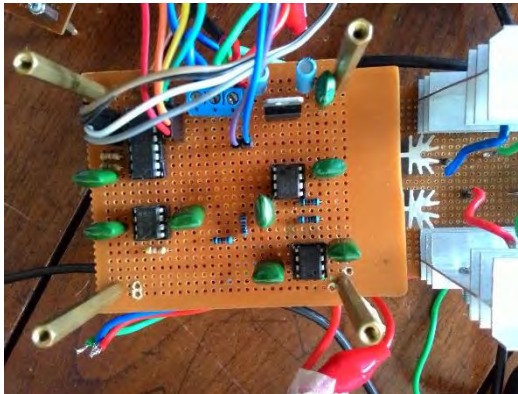
Gambar 3.13 Rangkaian sziklai darlington

3.2.2 Bentuk Fisik Alat Demagnetisasi

Gambar 3.14a dan gambar 3.14b merupakan bentuk fisik alat demagnetisasi. Alat demagnetisasi pada gambar ini merupakan wujud nyata dari simulasi yang telah dilakukan dengan menggunakan *software proteus*. Pada kondisi fisik alat demagnetisasi ini dipasang kapasitor pada setiap komponen yang membutuhkan suplai tegangan. Fungsi dari kapasitor ini adalah mengurangi *drop* tegangan yang terjadi dan mengurangi *ripple* tegangan yang dikeluarkan. Komponen-komponen penting lain yang merupakan bagian penting dari alat demagnetisasi ini diantaranya adalah : sensor arus pada keluaran alat demagnetisasi dan *power supply* DC dengan polaritas positif dan polaritas negatif.



Gambar 3.14a Bentuk fisik alat demagnetisasi tampak samping



Gambar 3.14b Bentuk fisik alat demagnetisasi tampak dari atas

Berikut penjelasan mengenai komponen-komponen tambahan yang merupakan bagian inti dari alat demagnetisasi:

1. Sumber tegangan (*power supply*) DC

Berfungsi sebagai penyuplai sumber tegangan DC (suplai tegangan polaritas positif dan tegangan dengan polaritas negatif) alat demagnetisasi agar dapat berfungsi secara baik. Alat demagnetisasi membutuhkan suplai tegangan -12 volt dan 12 volt DC. Selain itu juga dibutuhkan sumber 5 volt untuk menyuplai rangkaian *op-amp* diferensiasi. Sumber 5 volt DC akan diatur oleh IC 7805 yang

ditambahkan ke dalam alat demagnetisasi. Pada Gambar 3.15 ditunjukkan *Power supply* DC



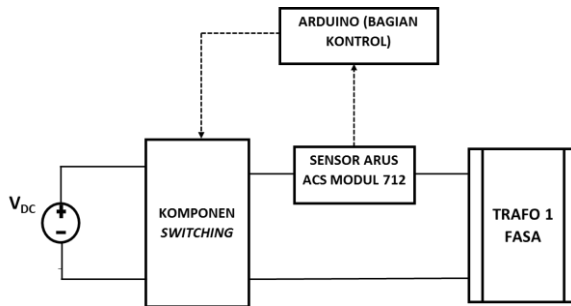
Gambar 3.15 *Power supply* DC

2. Sensor arus ACS modul 712

Alat demagnetisasi ini dihubungkan dengan sebuah sensor arus ACS Modul 712 Ampere yang berfungsi mensensor arus keluaran. Fungsi dari sensor arus tersebut yang nantinya akan diteruskan ke arduino sebagai pembacaan untuk periode penggeseran (*switching*) tegangan keluaran. Pada Gambar 3.16 ditunjukkan sensor arus ACS modul 712



Gambar 3.16 ACS modul 712



Gambar 3.17 Rangkaian Keseluruhan Alat Demagnetisasi

3.2.3 Prinsip Kerja dari Alat Demagnetisasi

Prinsip kerja dari alat demagnetisasi fluks sisa yang telah dirancang adalah sebagai berikut :

1. Kombinasi nilai tegangan DC yang bervariasi dikodingkan ke arduino untuk menentukan nilai kombinasi biner dari komponen DAC (*Digital to Analog Converter*) supaya menghasilkan nilai tegangan keluaran yang diinginkan. Variasi tegangan DC yang dikeluarkan yaitu variasi besar nilai tegangan positif dan besar nilai tegangan negatif.
2. Sensor arus ACS modul 712 berfungsi sebagai bagian utama yang berperan dalam menentukan periode yang digunakan penggeseran (*switching*). Sensor arus ini bekerja dengan cara *men-sensing* pada saat tegangan awal (V^+) dengan nilai tertentu dimasukkan ke transformator. Pada saat nilai tegangan dimasukkan ke transformator, tegangan tersebut akan mengalami nilai saturasi ke nilai arus 1.2 A dengan periode waktu tertentu. Periode waktu saturasi dari tegangan awal volt inilah yang nantinya akan dicatat oleh ACS modul 712 dan akan diteruskan ke arduino (bagian control). Arduino (bagian control) akan mengatur program bahwa lama periode waktu saturasi dari tegangan awal (V^+) akan diatur sebagai periode penggeseran (*switching*) polaritas tegangan pada besar nilai tegangan selanjutnya.

3.3 Pembacaan Arus *Inrush* Menggunakan *Data Acquisition (DAQ)* dan Pengolahan Data Menggunakan Perangkat Lunak *NIDIA*dem dan *LabView*

DAQ 9246 berfungsi untuk merekam nilai arus yang masuk menuju transformator. Sebuah transformator CT dipasang seri dengan DAQ 9246 sebagai sensor arus yang berfungsi untuk membaca nilai arus. Selain berfungsi sebagai *sensing* arus, transformator CT tersebut berfungsi juga sebagai pengaman arus lebih untuk DAQ 9246. Apabila sudah mendapatkan data-data arus *inrush* dari DAQ 9246 maka proses selanjutnya adalah pengolahan data menggunakan perangkat lunak *NIDIA*dem dan juga *LabView*. Setelah dilakukan pengolahan data, maka data arus *inrush* akan didapatkan. Pada Gambar 3.17 ditunjukkan peralatan DAQ 9246.



Gambar 3.18 *Data Acquisition (DAQ) 9246*

BAB 4

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS KINERJA ALAT DEMAGNETISASI

4.1 Hasil Pengujian Tegangan Keluaran Alat Demagnetisasi



Gambar 4.1 Alat demagnetisasi

Sebelum melakukan koding pada Arduino untuk menentukan kombinasi biner yang dimasukkan pada DAC (*Digital to Analog Converter*) dalam menentukan besar tegangan keluaran yang dihasilkan, maka sebelumnya harus dilakukan langkah-langkah pencocokan dan kalibrasi antara besar nilai tegangan yang disimulasikan dengan besar nilai tegangan pada kondisi kenyataan agar kodingan yang diberikan pada arduino tidak mengalami kekeliruan dalam menentukan besar nilai tegangan. Tabel 4.1 menunjukkan perbandingan besar nilai tegangan pada saat disimulasikan dan besar nilai tegangan keluaran pada kondisi kenyataan sebenarnya.

Tabel 4.1 Perbandingan nilai simulasi dan kondisi kenyataan

V Simulasi (DC Volt)	Biner DAC	V Real (DC Volt)	I Real (A)
1.03	10000001	1.7	1.72
0.93	01111111	0.95	0.98

V Simulasi (DC Volt)	Biner DAC	V Real (DC Volt)	I Real (A)
0.98	10000000	1.65	1.67
1.12	10000011	1.77	1.79
0.89	01111110	0.91	0.94
0.84	01111101	0.87	0.9
0.79	01111100	0.83	0.86
0.65	01111001	0.7	0.73
0.56	01110111	0.62	0.65
0.47	01110101	0.53	0.57
0.37	01110011	0.45	0.48
0.14	01101110	0.9	0.93
-0.5	01100000	0.3	0.36
-1.3	01001111	-0.4	0.41
-1.96	01000001	-1.05	-1.06
-1.82	01000010	-0.92	-0.94
-1.6	01000111	-0.83	-0.8
-1.4	01001011	-0.6	-0.62
-1.54	01001010	-0.67	-0.67
-1.35	01001111	-0.45	-0.49
-0.6	01010000	-0.47	-0.49
0.002	01011110	0.77	0.8

Berdasarkan Tabel 4.1 diatas maka diperoleh data keluaran besar nilai tegangan dan arus alat demagnetisasi. Perbandingan nilai tegangan antara yang disimulasikan dan yang terjadi pada keluaran sebenarnya dari alat demagnetisasi mengalami kesalahan pada nilai tertentu. Tetapi pada kondisi besar nilai tegangan yang lainnya, besar nilai tegangan yang disimulasikan kurang lebih mengalami kesamaan nilai dengan tegangan yang dihasilkan oleh alat demagnetisasi.

4.1.1 Penentuan Nilai Tegangan DC Variasi

Penentuan nilai tegangan awal DC yang akan divariasikan yaitu dengan cara memperhatikan nilai dari nilai saturasi pada inti transformator. Nilai saturasi inti transformator terjadi pada saat arus sebesar 1.2 A dialirkan ke transformator. Dengan mengacu pada data Tabel 4.1 maka diambilah nilai tegangan sebesar 0.91 Volt DC dengan arus sebesar 0.94 A. Pemilihan besar tegangan awal sebesar 0.91 volt

dikarenakan dengan tegangan 0.91 volt arus saturasi yang dihasilkan paling mendekati nilai saturasi inti transformator yaitu 0.94A. Melihat tabel saturasi yang telah dibahas pada bab 3 maka dengan pemilihan arus sebesar 0.94 dapat dianalisa jika pada saat arus sebesar 0.94 A mengalir pada transformator maka kondisi arus sudah mulai mengalami nilai kondisi saturasi. Pemilihan besar tegangan 0.91 Volt DC dengan arus sebesar 0,94 A akan mengalami saturasi pada periode waktu tertentu.

Dengan prinsip kerja yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya, yaitu :

1. Kombinasi nilai tegangan DC yang bervariasi dikodingkan ke arduino untuk menentukan nilai kombinasi biner dari komponen DAC (*Digital to Analog Converter*) supaya menghasilkan nilai tegangan keluaran yang diinginkan. Variasi tegangan DC yang dikeluarkan yaitu variasi besar nilai tegangan positif dan besar nilai tegangan negatif.
2. Sensor arus ACS modul 712 berfungsi sebagai bagian utama yang berperan dalam menentukan periode yang digunakan penggeseran (*switching*). Sensor arus ini bekerja dengan cara *men-sensing* pada saat tegangan awal 0.91 volt dimasukkan ke transformator. Pada saat nilai tegangan 0.91 volt dimasukkan ke transformator, tegangan tersebut akan mengalami nilai saturasi ke nilai arus 0,94 A dengan periode waktu tertentu. Periode waktu saturasi dari tegangan 0.9 volt inilah yang nantinya akan dicatat oleh ACS modul 712 dan akan diteruskan ke arduino (bagian control). Arduino (bagian control) akan mengatur program bahwa lama periode waktu saturasi dari tegangan 0.91 V akan diatur sebagai periode penggeseran (*switching*) polaritas tegangan pada besar nilai tegangan selanjutnya.

Dari prinsip kerja tersebut, maka nilai tegangan DC yang akan divariasikan harus memenuhi teori yang sudah ada sebelumnya yaitu sesuai dengan Hukum Faraday, saat tegangan DC dihubungkan ke induktor, arus $i(t)$ meningkat secara linier selama tegangan DC itu terhubung. Saat arus yang mengalir mencapai nilai maksimum, maka polaritas tegangan DC dibalik hingga arus bernilai $-I_{max}$. Jika pola ini dilakukan terus menerus dengan variasi nilai tegangan, maka fluks sisa yang terdapat dalam induktor akan terpengaruh karena:

$$i(t) = \frac{1}{L} \int v(t) dt = \frac{V}{L} t \quad (3.23)$$

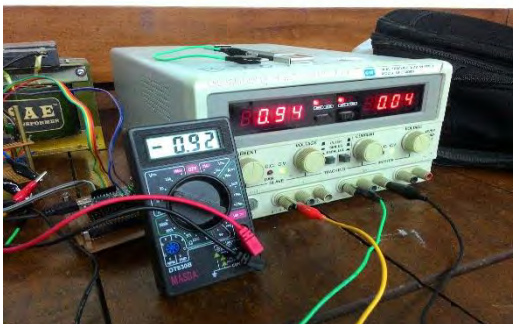
$$\Phi = L, i(t) \quad (3.24)$$

Dengan memberi variasi pengurangan nilai tegangan DC secara berturut-turut setiap setengah cycle, maka fluks yang terdapat di dalam induktor akan secara perlahan berkurang setiap setengah cycle. Untuk memulai proses tegangan DC disuplai ke transformator hingga mencapai arus saturasinya yaitu 1.2 A. periode untuk mencapai saturasi tersebut digunakan sebagai waktu untuk *switching* pada proses selanjutnya. Tegangan awal yang digunakan dalam alat demagnetisasi adalah nilai tertentu berdasarkan nilai arus saturasi inti transformator. Setelah itu, tegangan dibalik dan dikurangi setiap setengah *cycle* dengan kombinasi tegangan dengan variasi tertentu.[12]

Variasi besar nilai tegangan yang diaplikasikan dan akan divariasikan yaitu nilai tegangan 0.91 -0.83 0.7 -0.62 0.53 -0.4 0.32 . Pada gambar 4.2-4.8 akan ditunjukkan nilai besar tegangan dan arus yang akan dihasilkan.



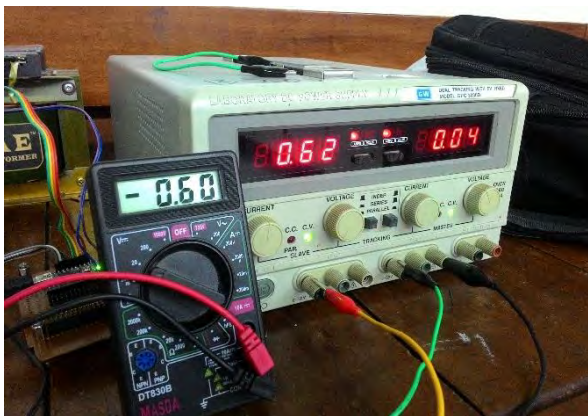
Gambar 4.2 Nilai tegangan dan arus pada fasa positif (0.95 Volt DC dan 0.98 A)



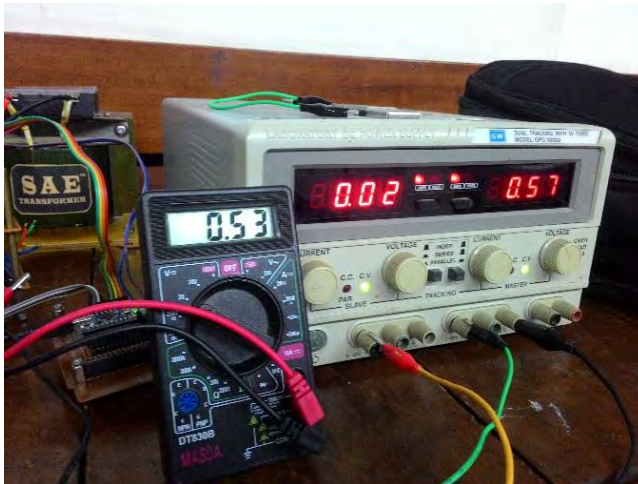
Gambar 4.3 Nilai tegangan dan arus pada fasa negatif (-0.92 Volt DC dan -0.94 A)



Gambar 4.4 Nilai tegangan dan arus pada fasa positif (0.7 Volt DC dan 0.98 A)



Gambar 4.5 Nilai tegangan dan arus pada fasa positif (-0.6 Volt DC dan -0.62 A)



Gambar 4.6 Nilai tegangan dan arus pada fasa positif (0.53 Volt DC dan 0.57 A)



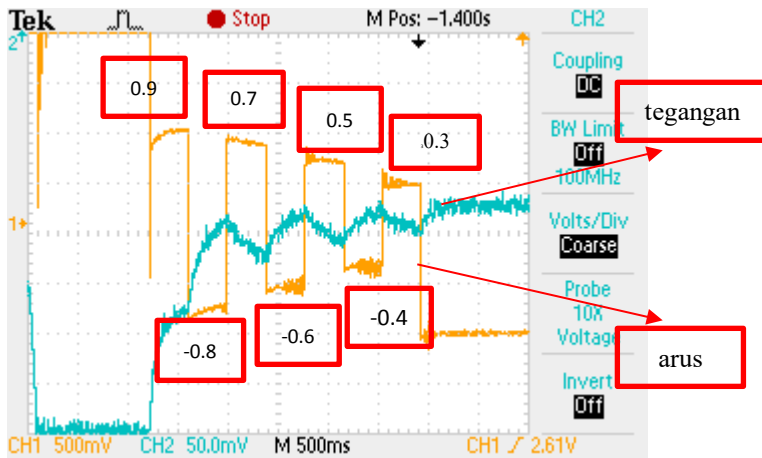
Gambar 4.7 Nilai tegangan dan arus pada fasa positif (-0.39 Volt DC dan -0.41 A)



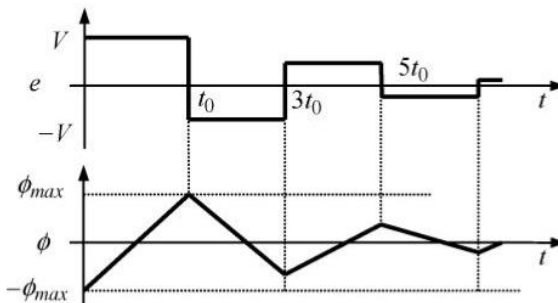
Gambar 4.8 Nilai Tegangan dan Arus pada Fasa Positif (0.32 Volt DC dan 0.36 A)

Dari data-data diatas dapat dianalisa jika nilai-nilai yang dihasilkan tidak bisa presisi setiap waktu dilakukan pengukuran kalibrasi antar nilai tegangan yang disimulasikan dengan besar nilai sebenarnya dari keluaran alat demagnetisasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi hal tersebut antara lain : 1. Kondisi temperatur dari setiap komponen alat demagnetisasi. Jika semakin sering digunakan untuk mengambil data maka kondisi temperaturnya akan semakin meningkat. Kondisi tersebut akan menyebabkan perbedaan dalam menghasilkan tegangan keluaran. 2. Kondisi suhu lingkungan dan kondisi medan magnet disekitar ACS modul (sensor arus). Dengan kondisi tersebut maka pembacaan nilai arus yang akan melewati ACS juga kan mengalami perbedaan. Namun dengan nilai kesalahan yang hanya bernilai sekian mili volt dan mili ampere hal itu tidak akan menyebabkan kefatalan dalam alat demagnetisasi.

Mengacu pada hasil percobaan yang telah dilakukan maka dapat dimungkinkan untuk memberi variasi pengurangan nilai tegangan DC secara berturut-turut setiap setengah *cycle*. Untuk memulai proses, tegangan DC disuplai ke transformator hingga mencapai arus saturasinya yaitu 1.2 A. Periode untuk mencapai saturasi tersebut digunakan sebagai waktu untuk *switching* pada proses selanjutnya. Maka pada Gambar 4.9 akan diberikan gambar sinyal tegangan keluaran dari alat demagnetisasi untuk memperjelas analisa yang diuraikan.



Gambar 4.9 Bentuk gelombang keluaran alat demagnetisasi dengan osiloskop



Gambar 4.10 Bentuk gelombang keluaran alat demagnetisasi sesuai dasar teori [11]

Berdasarkan Gambar 4.9 yang dihasilkan oleh osiloskop, dapat dianalisa bahwa setiap terjadi pergeseran (*switching*) polaritas akan terjadi *peak* tegangan. *Peak* tegangan terjadi dari pergeseran (*switching*) dari polaritas positif ke polaritas negatif maupun sebaliknya. *Peak* tegangan terjadi dikarenakan karakteristik dari DAC 0808 yang digunakan dalam menghasilkan tegangan dan faktor *switching* yang terjadi. Namun hal tersebut tidak menjadi masalah yang menimbulkan kegagalan dalam proses demagnetisasi dikarenakan *peak* tegangan yang

terjadi tidak melebihi tegangan yang dihasilkan pada fasa (positif/negatif) sebelumnya.

Berdasarkan pada Gambar 4.9 dapat dijelaskan jika tegangan awal sebesar 0.9 volt yang dikeluarkan oleh alat demagnetisasi akan mengalami saturasi pada periode sekitar kurang lebih 380ms. Periode 380ms tersebut akan menjadi periode penggeseran (*switching*) pada variasi tegangan selanjutnya. Hal tersebut berdasar pada teori awal yaitu pada saat tegangan dengan polaritas positif (V^+) dikeluarkan dan mengalami saturasi pada periode tertentu maka polaritasnya tegangannya akan digeser ke polaritas yang berlawanan dengan besar nilai tegangan yang lebih kecil [12]. Besar arus juga mengalami penurunan sesuai tegangan yang dikeluarkan.

Berdasarkan pada Gambar 4.9 maka dapat diketahui jika waktu untuk melakukan proses demagnetisasi dengan metode *Contant Voltage-Variable Frequency* berlangsung dengan waktu yang cukup singkat yaitu kurang lebih 2660ms (total waktu untuk sekali proses demagnetisasi). Selain itu juga dapat dipenuhi tegangan sesuai dengan dasar teori yaitu disaat V^+ diberikan kemudian mencapai titik saturasi positifnya, polaritas tegangan dibalik sampai mencapai nilai minimum saturasinya dan dilakukan pengurangan nilai tegangan DC secara berturut-turut setiap setengah cycle. Periode yang diberikan setiap setengah *cyclenya* yaitu berdasar pada periode untuk mencapai saturasi awalnya[12].

4.2 Pengukuran Besar Arus Inrush dan Pengaruh Demagnetisasi Terhadap Besar Arus Inrush

Pada bagian ini akan dihitung besar nilai arus inrush yang dihasilkan oleh transformator menggunakan modul pengukuran arus inrush yang telah ada. Pengukuran ini membandingkan antara besar nilai arus inrush sebelum transformator didemagnetisasi dan sesudah didemagnetisasi.

Transformator pada pengujian arus inrush ini diasumsikan tidak memiliki fluks sisa. Jadi dapat dikatakan transformator ini memiliki fluks sisa nol. Hal ini dikarenakan transformator telah dilakukan pengujian-pengujian pada waktu sebelumnya. Pengujian antara lain : pengujian arus saturasi inti transformator, pengujian hubung singkat dan pengujian hubung terbuka transformator untuk mencari parameter-parameter transformator. Hal-hal tersebut menyebabkan transformator memiliki fluks sisa yang tidak bisa diperkirakan. Oleh karena itu kondisi fluks pada transformator kita asumsikan tidak ada atau tidak memiliki fluks sisa untuk mempermudah melakukan perhitungan dan perbandingan.

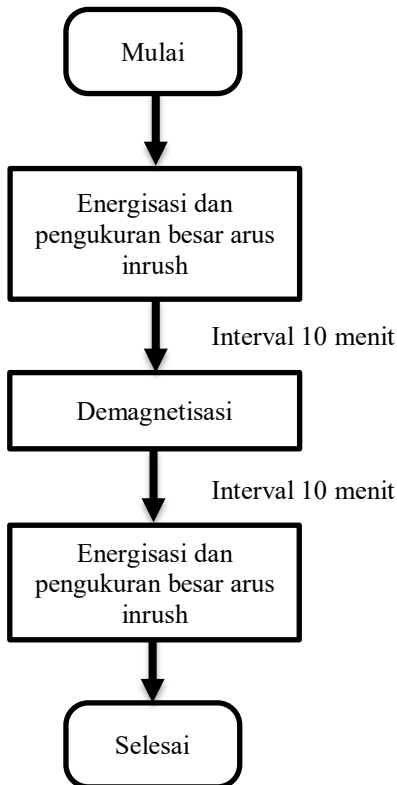
Pada Gambar 4.11 ditunjukkan modul untuk energisasi transformator dan modul untuk penyalan sudut transformator. Modul pensaklaran ini berfungsi untuk menghubungkan transformator dengan tegangan sumber PLN 220 Volt. Pada modul pensaklaran ini dipasang 2 buah TRIAC yang berfungsi sebagai saklar untuk mengatur sudut penyalannya agar arus yang masuk ke transformator memiliki sudut penyalan 0° dan sudut penyalan 90°



Gambar 4.11 Modul energisasi dan pensaklaran sudut penyalan arus transformator

Setelah mempersiapkan peralatan-peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besar nilai arus inrush pada transformator maka langkah selanjutnya adalah membuat metodologi pengukuran arus inrush. Membuat metodologi pengukuran besar nilai arus inrush dimaksudkan agar perlakuan pengukuran pada setiap kondisi mengalami kesamaan sehingga data yang dihasilkan bisa dibandingkan. Diagram alir pada Gambar 4.11 menunjukkan langkah-langkah pengujian transformator dan langkah-langkah untuk mendemagnetisasi transformator. Langkah-langkah ini akan dilakukan berulang kali untuk mengetahui besar arus inrush disaat kondisi sebelum didemagnetisasi dan sesudah didemagnetisasi. Langkah-langkah pengukuran besar arus inrush dengan

sudut penyalaaan 0^0 dan sudut penyalaaan 90^0 sudah dijelaskan pada paragraf sebelumnya.

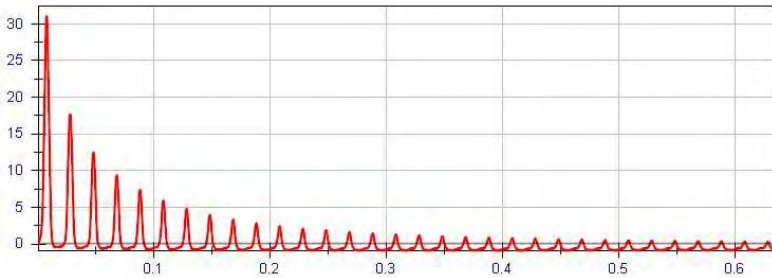


Gambar 4.12 Diagram alir proses demagnetisasi transformator

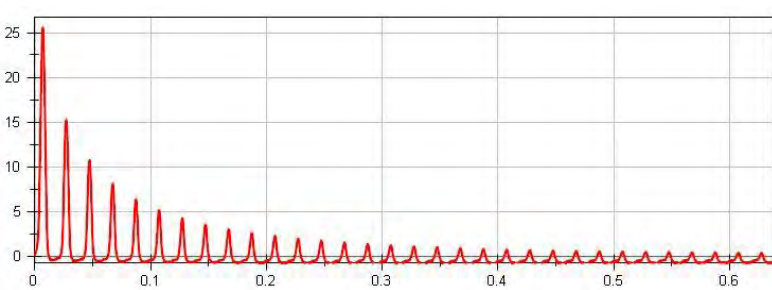
4.2.1 Hasil Pengukuran Besar Nilai Arus Inrush pada Sudut Penyalaaan 0^0

Pada pengukuran besar nilai arus inrush pada sudut penyalaaan 0^0 akan dilakukan pengukuran sebanyak dua kali. Dilakukan sebanyak dua kali pengukuran dimaksudkan untuk membandingkan apakah memiliki kestabilan nilai antara nilai pengukuran yang pertama dan nilai dari hasil pengukuran yang kedua. Langkah – langkah pengukuran sudah dijelaskan pada diagram alir pada Gambar 4.12. Pada Gambar 4.13 - 4.16

dibawah ini ditunjukkan data-data mengenai besar arus inrush sebelum dan sesudah didemagnetisasi pada sudut penyalan 0° .

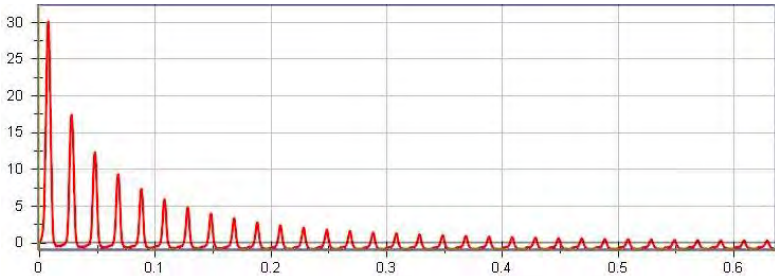


Gambar 4.13 Nilai arus sebelum didemagnetisasi pada pengukuran pertama sudut penyalan 0°

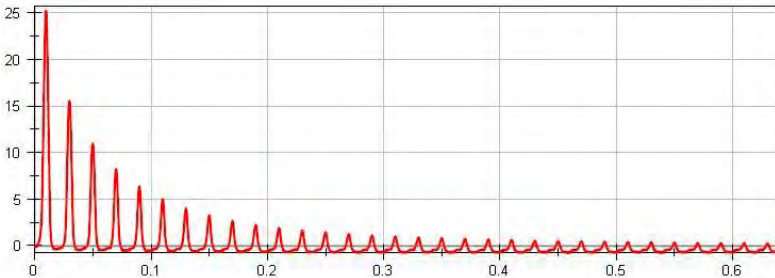


Gambar 4.14 Nilai arus sesudah didemagnetisasi pada pengukuran pertama sudut penyalan 0°

Dari hasil pengukuran yang pertama pada fasa 0° yang ditunjukkan pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 didapatkan hasil pengukuran besar nilai arus inrush sebelum dan sesudah didemagnetisasi. Besar nilai arus inrush sebelum didemagnetisasi adalah 31.68 A dan besar arus inrush sesudah transformator didemagnetisasi adalah 25.55 A.



Gambar 4.15 Nilai arus inrush sebelum didemagnetisasi pada pengukuran kedua pada sudut penyalan 0^0



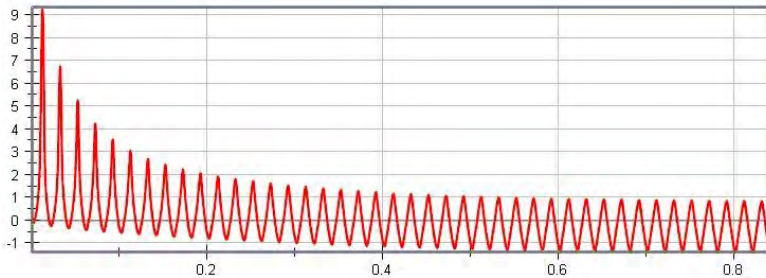
Gambar 4.16 Nilai arus inrush sesudah didemagnetisasi pada pengukuran kedua sudut penyalan 0^0

Dari hasil pengukuran yang kedua pada fasa 0^0 yang ditunjukkan pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 didapatkan hasil pengukuran besar nilai arus inrush sebelum dan sesudah didemagnetisasi. Besar nilai arus inrush sebelum didemagnetisasi adalah 30.12 A dan besar arus inrush sesudah transformator didemagnetisasi adalah 25.25 A.

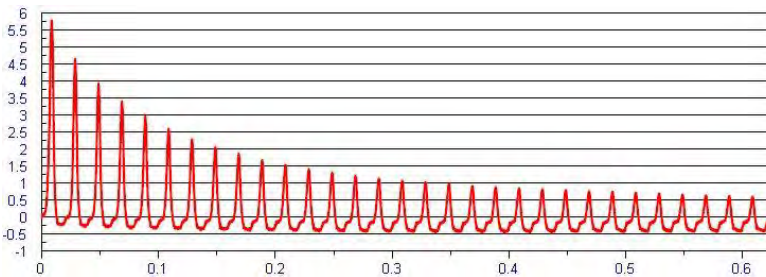
4.2.2 Hasil Pengukuran Besar Nilai Arus Inrush pada Sudut Penyalan 90^0

Pada pengukuran besar nilai arus inrush sudut penyalan 90^0 akan dilakukan pengukuran sebanyak dua kali. Dilakukan sebanyak dua kali pengukuran dimaksudkan untuk membandingkan apakah memiliki kestabilan nilai antara nilai pengukuran yang pertama dan nilai dari hasil pengukuran yang kedua. Langkah – langkah pengukuran sudah dijelaskan pada diagram alir pada Gambar 4.12. Pada Gambar 4.17 - 4.20

dibawah ini ditunjukkan data-data mengenai besar arus inrush sebelum dan sesudah didemagnetisasi pada sudut penyalan 90° .

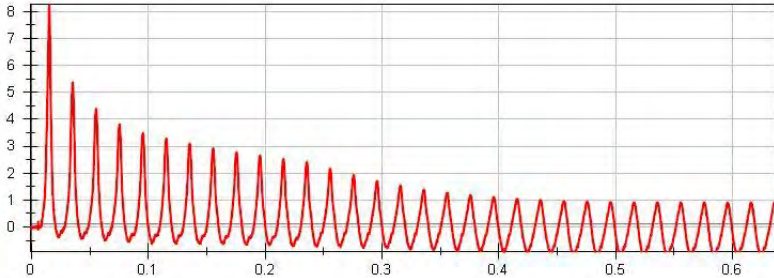


Gambar 4.17 Nilai arus inrush sebelum didemagnetisasi pada pengukuran pertama pada sudut penyalan 90°

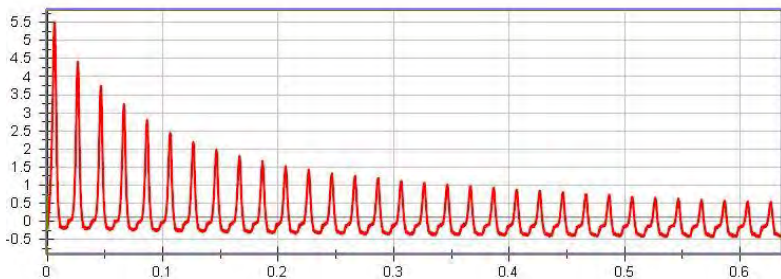


Gambar 4.18 Nilai arus inrush sesudah didemagnetisasi pada pengukuran pertama sudut penyalan 90°

Dari hasil pengukuran yang pertama pada fasa 90° yang ditunjukkan pada Gambar 4.17 dan Gambar 4.18 didapatkan hasil pengukuran besar nilai arus inrush sebelum dan sesudah didemagnetisasi. Besar nilai arus inrush sebelum didemagnetisasi adalah 9.22 A dan besar arus inrush sesudah transformator didemagnetisasi adalah 5.75 A.



Gambar 4.19 Nilai arus inrush sebelum didemagnetisasi pada pengukuran kedua pada sudut penyalan 90^0



Gambar 4.20 Nilai arus inrush sesudah didemagnetisasi pada pengukuran kedua pada sudut penyalan 90^0

Dari hasil pengukuran yang pertama pada fasa 90^0 yang ditunjukkan pada Gambar 4.19 dan Gambar 4.20 didapatkan hasil pengukuran besar nilai arus inrush sebelum dan sesudah didemagnetisasi. Besar nilai arus inrush sebelum didemagnetisasi adalah 8.22 A dan besar arus inrush sesudah transformator didemagnetisasi adalah 5.50 A.

4.3 Hasil Pengukuran Besar Arus Inrush dan Pengaruh Demagnetisasi Terhadap Besar Arus Inrush

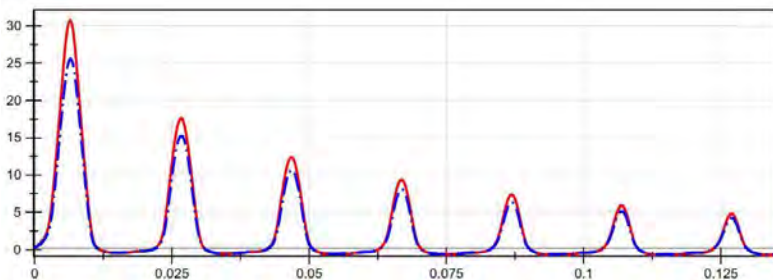
Dari pengambilan data pada sudut penyalan 0^0 dan pada sudut penyalan 90^0 masing masing diambil dua kali pengambilan data, maka didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 4.2 Data arus inrush transformator sebelum dan sesudah didemagnetisasi

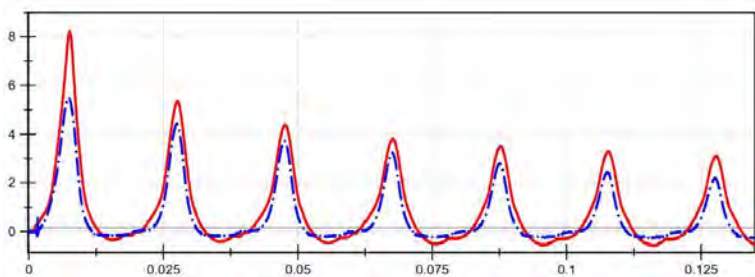
No	Sudut Penyalaan	Sebelum Didemagnetisasi	Sesudah Didemagnetisasi
1	0 ⁰	31.68 A	25.55 A
2		30.12 A	25.25 A
3	90 ⁰	9.22 A	5.75 A
4		8.22 A	5.50 A

Dari Tabel 4.2 dapat diambil analisa bahwa besar nilai dari arus inrush transformator sebelum dan sesudah didemagnetisasi mengalami perbedaan nilai. Besar nilai arus inrush transformator sesudah didemagnetisasi mengalami penurunan besar arus seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2. Dari dua kali pengambilan data pada sudut penyalaan 0⁰ dan sudut penyalaan 90⁰ terdapat nilai yang stabil dalam penurunan besar arus inrush setelah transformator didemagnetisasi.

Pada dua kali pengambilan data pada sudut penyalaan 0⁰ penurunan nilai arush inrush terjadi pada nilai 31.68A ke nilai 25.55A seperti ditunjukkan pada Gambar 4.21 dan terjadi pada nilai 30.12A ke nilai 25.25A. Sedangkan, pada dua kali pengambilan data pada sudut penyalaan 90⁰ penurunan nilai arush inrush terjadi pada nilai 9.22A ke nilai 5.75A dan terjadi pada nilai 8.22A ke nilai 5.50A seperti ditunjukkan pada Gambar 4.22.



Gambar 4.21 Pengaruh demagnetisasi terhadap besar arus inrush pada sudut penyalaan 0⁰



Gambar 4.22 Pengaruh demagnetisasi terhadap besar arus inrush pada sudut penyalan 90^0

LAMPIRAN

Lampiran 1, koding arduino

```
int flag = 0;
int a,b,c;
int batas = 400;
void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    for(int a = 2; a<10; a++){
        pinMode(a, OUTPUT);
    }
    pinMode(10, INPUT_PULLUP);
}

void nyala(int i, int j, int k, int l, int m, int n, int o, int p) {
    digitalWrite(2, i);
    digitalWrite(3, j);
    digitalWrite(4, k);
    digitalWrite(5, l);
    digitalWrite(6, m);
    digitalWrite(7, n);
    digitalWrite(8, o);
    digitalWrite(9, p);
}

void loop(){
    int baca = analogRead(A0);
    Serial.println(baca);
    if (flag == 0){
        if (digitalRead(10) == 0){
            a = millis();
            flag = 1;
        }
    }
    else if (flag == 1){
        nyala(0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0);
        if (baca >= batas){
            b = millis();
        }
    }
}
```

```

    c = b - a;
    flag = 2;
}
}
else if (flag == 2){
nyala(0, 1, 0, 0, 0, 1, 1, 1);
delay(c);
nyala(0, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 1);
delay(c);
nyala(0, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 1);
delay(c);
nyala(0, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 1);
delay(c);
nyala(0, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 1);
delay(c);
nyala(0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0);
delay(c);
nyala(0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1);
delay(c);
flag = 0;}
}

```

BAB 5

PENUTUP

Dari perancangan dan pengujian alat demagnetisasi fluks sisa transformator satu fasa 1 KVA, penulis dapat menarik kesimpulan dan memberikan saran yang berguna untuk pengembangan studi ini.

5.1 Kesimpulan

Evaluasi hasil uji coba alat demagnetisasi fluks sisa transformator satu fasa 1KVA menghasilkan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Besar nilai dari arus inrush transformator sebelum dan sesudah didemagnetisasi mengalami perbedaan nilai. Besar nilai arus inrush transformator sesudah didemagnetisasi mengalami penurunan besar nilai arus.
2. Besar penurunan arus inrush yaitu sebesar :
 - a. Pada dua kali pengambilan data pada sudut penyalan 0^0 penurunan nilai arus inrush terjadi pada nilai 31.68A ke nilai 25.55A dan terjadi pada nilai 30.12A ke nilai 25.25A.
 - b. Pada dua kali pengambilan data pada sudut penyalan 90^0 penurunan nilai arus inrush terjadi pada nilai 9.22A ke nilai 5.75A dan terjadi pada nilai 8.22A ke nilai 5.50A.
3. Dari dua kali pengambilan data pada sudut penyalan 0^0 dan sudut penyalan 90^0 terdapat nilai yang stabil dalam penurunan besar arus inrush setelah transformator didemagnetisasi.
4. Dengan menggunakan metode *Variable Voltage-Constant Frequency/VVCF* dapat mengurangi fluks sisa sehingga akan menurunkan besar nilai arus inrush transformator 1 KVA.

5.2 Saran

Saran yang berguna untuk pengembangan studi ini adalah jumlah pengambilan data arus inrush untuk pengembangan selanjutnya dilakukan dengan lebih banyak pengambilan data lagi sehingga bisa diambil rata-rata penurunan arus inrush yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Jahromi, R. Piercy, S. Cress, J. Service, and W. Fan, "An approach to power transformer asset management using health index," *Electrical Insulation Journal & Magazine*, IEEE, vol. 25, pp. 20-34, 2009.
- [2] Chapman, Stephen. J. "*Electric Machinery Fundamentals : Fourth Edition*," McGraw-Hill Education, New York, 2005.
- [3] C. E. Lin, C. L. Cheng, C. L. Huang, and J. C. Yeh, "Investigation of magnetizing inrush current in transformers. II. Harmonic analysis," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 8, no. 1, pp. 255-263, Jan. 1993.
- [4] C. E. Lin, C. L. Cheng, C. L. Huang, and J. C. Yeh, "Investigation of magnetizing inrush current in transformers. I. Numerical simulation," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 8, no. 1, pp. 246-254, Jan. 1993.
- [5] K. Yabe, "Power differential method for discrimination between fault and magnetizing inrush current in transformers," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 12, no. 3, pp. 1109-1118, Jul. 1997.
- [6] Paul C. Y. Ling and Amitava Basak, "Investigation of Magnetizing Inrush Current in a Single-phase Transformer," *IEEE Transactions On Magnetics.*, vol. 24, no. 6, November 1988.
- [7]. Shin-Der Chen, Ray-Lee Lin, and Chih-Kun Cheng, "Magnetizing Inrush Model of Transformers Based on Structure Parameters," *IEEE Transactions On Power Delivery*, vol. 20, no. 3, July 2005
- [8] Fitzgerald, A. E., Charles Kingsley, Jr., Stephen D. Umans, "*Electric Machinery : Sixth Edition*," McGraw-Hill Education, New York, 2003.
- [9] Budi. Arif, "Pengaruh Cara Pemotongan Inti Transformator Terhadap Kurva Magnetisasi Dan Inrush Current," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015

- [10] M. Jamali, M. Mirzaie, and S. Asghar Gholamian, "Calculation and Analysis of Transformer Inrush Current Based on Parameters of Transformer and Operating Conditions," ISSN 1392-1215 ©2011.
- [11] Francisco de León, A. Farazmand, S. Jazebi, Digvijay Deswal, and R. Levi, "Elimination of Residual Flux in Transformers by the Application of an Alternating Polarity DC Voltage Source" IEEE Transactions on Power Delivery 0885-8977, 2013. 19
- [12] Baris Kovan, Francisco de León, Dariusz C., and Leo Birenbaum, "Mitigation of Inrush Currents in Network Transformers by Reducing the Residual Flux With an Ultra-Low-Frequency Power Source," IEEE Transactions On Power Delivery, 0885-8977/\$26.00 © 2011.

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Ryan Nurdianto, terlahir di Trenggalek Jawa Timur pada tanggal 24 Juni 1994 adalah putra pertama dari pasangan Dasiran dan Suciati.

Pendidikan formal yang telah ditempuh adalah:

- 1.SDN 2 Pogalan pada tahun 2000-2006,
- 2.SMPN 1 Trenggalek pada tahun 2006-2009,
- 3.SMAN 1 Trenggalek pada tahun 2009-2012,

Dan melanjutkan program sarjana melalui program Reguler di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, jurusan Teknik

Elektro dan mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis dapat dihubungi di email: ryan.nurdianto@gmail.com.